

Universidad
Autónoma
Metropolitana



Casa abierta al tiempo Azcapotzalco

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

SISTEMA PRODUCTO-SERVICIO PARA LA ATENCIÓN Y FABRICACIÓN DE PRÓTESIS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN MIEMBRO SUPERIOR POR AMPUTACIÓN

Jesús Eugenio Ricardez Sánchez

Tesis para optar por el Grado de Maestro en Diseño
Maestría en Diseño y Desarrollo de Productos

Miembros del Jurado:

Mtro. Sergio Dávila Urrutia
Director

Mtra. María Francesca Sasso Yada
Co director

Dr. Marco Vinicio Ferruzca Navarro
Dr. José Ivan Gustavo Garmendia Ramírez
Dr. Homero Jiménez Rabiela
Mtra. Ruth Alicia Fernández Moreno

CDMX
Noviembre de 2017

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco por brindarme la oportunidad para desarrollar este proyecto, así como a todos los coordinadores, profesores y personal del posgrado CYAD que a lo largo de la Maestría me apoyaron con sus conocimientos, tiempo y habilidades.

A la Mtra. María Francesa Sasso Yada, codirectora de esta investigación, gracias por la oportunidad que me dio al aceptarme bajo su asesoría y por todas sus aportaciones con enfoque hacia la ergonomía, kinesiólogía y sobre todo hacia la persona.

Al Mtro. Sergio Dávila Urrutia, director de esta investigación, por ayudarme ampliando los alcances de esta investigación, sus conocimientos en diseño de servicios fueron fundamentales para desarrollar el valor característico de este proyecto.

A mi compañera Maricela Tlaltlilpa Martínez por su constante apoyo con la preparación de este documento y motivarme en el trayecto.

A mis asesores técnicos Arq Lizette Correro y LDI Arturo Zamora por involucrarme en este proyecto y darme las habilidades para llevarlo a conclusión.

A mi hermano Ángel Eduardo Ricardez Sánchez, por su increíble trabajo desarrollando la plataforma web, soy consciente de todo el esfuerzo que le dedicaste.

Y en especial a mis padres que me han apoyado en cada decisión que he tomado.

Resumen

Sistema producto-servicio para la atención y fabricación de prótesis para personas con discapacidad en miembro superior por amputación

La discapacidad en miembro superior es un problema complejo que involucra factores tanto físicos como emocionales y sociales. Sin embargo, las soluciones actuales se concentran solo en el problema físico sin lograr mejoras significativas para el usuario.

En este proyecto se busca, con la aplicación metodologías de diseño y nuevas tecnologías, generar soluciones integrales para las personas con discapacidad.

Abstract

Product Service System for the care and production of prosthetics for people with disabilities in the upper limb by amputation

Upper limb disability is a complex problem that involves physical, emotional and even social factors. However, current solutions focus only on the physical problem without achieving significant life improvements for user.

This research objective is to generate comprehensive solutions for disabled people applying design methodologies and using new technologies.

Conforme avanza la tecnología, más y más industrias van a enfrentar la fuerza disruptiva del mundo digital y van a tener que aprender a manejarse según sus reglas.

Andreessen, M. (2011) Why Software is eating the World?

Índice General

Capítulo I. Planteamiento del problema	4
I.1 Objetivos	4
I.1.1 Objetivo general	4
I.1.2 Objetivos específicos	4
I.2 Justificación	5
I.3 Hipótesis	5
Capítulo II. Marco teórico	6
II.1 Marco conceptual	6
I.1.1. Discapacidad	6
II.1.1 Amputación de miembro superior	7
II.1.2 Muñón o miembro residual	7
II.1.3 Nivel de amputación	8
II.1.4 Prótesis	9
II.1.5 Manufactura aditiva: Impresión 3D	10
II.1.6 Diseño estratégico	12
II.1.7 Diseño paramétrico	15
II.1.8 Proceso de innovación	16
II.2 Marco contextual	17
II.2.1 Discapacidad de miembro superior en México	17
II.2.2 El precio de vivir sin un miembro	18
II.2.3 La frustración del contexto	19
II.3 Antecedentes	20
II.3.1 La impresión 3D en el área de la salud	20
II.3.2 Trabajo colaborativo y el desarrollo de prótesis	23

Capítulo III. Procedimiento.....	25
III.1 Tipo de investigación	25
III.2 Método y técnicas.....	26
III.3 Herramientas técnicas	26
III.4 Población o universo de estudio	26
III.4.1 Caso tipo	26
III.4.2 Numero de sujetos estudiados	27
III.5 Lugar en que se desarrolló el trabajo de investigación	27
III.6 Recursos materiales	27
III.6.1 Equipo, maquinaria y herramienta:	27
III.6.2 Insumos y consumibles:	28
III.6.3 Recursos Humanos:	28
III.6.4 Recursos materiales para recolectar datos:.....	28
Capítulo IV. Análisis del servicio protésico mexicano	29
IV.1 Análisis de proceso para fabricación de prótesis	30
IV.1.1 Proceso para fabricación de prótesis no regulado	33
IV.1.2 Análisis de experiencia de usuario en el servicio	35
Capítulo V. Propuesta de solución	41
V.1 Esquema propuesto.....	42
V.1.1 Difusión	43
V.1.2 Contacto con la empresa	44
V.1.3 Plataforma web.....	45
V.1.4 Toma de medidas corporales	68
V.1.5 Generador de modelo paramétrico	69
V.1.6 Impresión de modelo 3D.....	85
V.1.7 Limpieza y ensamble de piezas	86

V.1.8	Prueba de pieza con el usuario	87
V.1.9	Entrega.....	88
V.1.10	Intervención creativa.....	89
Capítulo VI.	Prototipado	92
VI.1	Análisis dinámico de articulación y experiencia empática	93
VI.2	Elementos de suspensión.....	94
VI.3	Diseño y modelado de socket.....	95
VI.4	Unión entre suspensión y socket	96
VI.5	Función mecánica.....	97
VI.6	Dispositivo terminal.....	101
VI.6.1	Primera prueba.....	101
VI.6.2	Segunda prueba	102
VI.6.3	Tercera prueba	103
VI.6.4	Cuarta prueba.....	104
VI.6.5	Quinta prueba.....	105
VI.6.6	Sexta prueba	106
VI.6.7	Modelo final	107
Capítulo VII.	Resultados	108
VII.1	Reporte de experiencia.....	109
VII.2	Costos	119
Conclusiones	123
Bibliografía.....		127
Anexos		132
VII.3	Anexo A.....	132
VII.4	Anexo B.....	137
VII.5	Anexo C.....	142

VII.6 Anexo D.....	144
VII.7 Anexo E.....	145
VII.8 Anexo F	149
VII.9 Anexo G	151

Índice de Figuras

Ilustración I. Elementos de prótesis (Digital Resource Foundation, 1960).....	9
Ilustración II. Tecnología FDM (3DVisual, 2014).	11
Ilustración III. El proceso HCD (IDEOy Bill and Melinda Gates Foundation, 2011).....	13
Ilustración IV. Metodología Design Thinking (Design Thinking, 2017).	14
Ilustración V. Framework Diez tipos de innovación (Keeley, Pikkell, Quinn y Walters, 2013).	16
Ilustración VI. Herramienta auxiliar fabricada mediante impresión 3D (Sculpteo, 2009).	20
Ilustración VII. Cráneo impreso en 3D. (Mcor technologies, 2013).	21
Ilustración VIII. Cultivo de células sobre andamiaje (Wake Forest School of Medicine, 2013). ..	22
Ilustración IX. Captura de "Inicio" en plataforma web (2017).	49
Ilustración X. Captura de "Nosotros" en plataforma web (2017).	50
Ilustración XI. Esquema de proceso contenido en plataforma web (2017).	52
Ilustración XII. Captura de "Contacto" en plataforma web (2017).	53
Ilustración XIII. Captura de ingreso a "Registro" en plataforma web (2017).	54
Ilustración XIV. Captura de proceso de registro en plataforma web (2017).	54
Ilustración XV. Captura de test WHOQOL en plataforma web (2017).	58
Ilustración XVI. Captura de test de NSE en plataforma web (2017).	59
Ilustración XVII. Captura de "Perfil de Usuario" en plataforma web (2017).	60
Ilustración XVIII. Captura de "Esquema de estatus" en plataforma web (2017).	62
Ilustración XIX. Captura de "Visualizador 3D" en plataforma web (2017).	63
Ilustración XX. Captura de "Tutoriales" en plataforma web (2017).	64
Ilustración XXI. Captura de "Agendado de Cita" en plataforma web (2017).	65
Ilustración XXII. Captura de "Mis prótesis" en plataforma web (2017).	66

Ilustración XXIII. Captura de "Comunidad" en plataforma web (2017).	67
Ilustración XXIV. Prótesis modelo estándar (2017)	92
Ilustración XXV. Prótesis modelo estándar sosteniendo un vaso (2017).	92
Ilustración XXVI. Análisis dinámico (2017).	93
Ilustración XXVII. Análisis empático (2017).	93
Ilustración XXVIII. Prototipado de elementos de suspensión (2017).	94
Ilustración XXIX. Prueba de elemento de suspensión flexible (2017).	94
Ilustración XXX. Escaneo 3D de muñón (2017).	95
Ilustración XXXI. (Malla poligonal de brazo (arriba) y superficie NURB trabajada en Rhinoceros (abajo) (2017).	95
Ilustración XXXII. Socket impreso en 3D (2017).	95
Ilustración XXXIII. Sistema de unión flexible. Conectado (izq.), desconectado (der.) (2017).	96
Ilustración XXXIV. Suspensión flexible conectada a socket (2017).	96
Ilustración XXXV. Mecanismo de activación en prótesis análogas (2017).	97
Ilustración XXXVI. Angulo cubital de brazo (2017).	97
Ilustración XXXVII. Prototipos de activación mecánica (2017).	98
Ilustración XXXVIII. Mecanismo de activación propuesto (2017).	98
Ilustración XXXIX. Activación mecánica con bisagra integrada (2017).	99
Ilustración XL. Integración de bisagra (2017).	99
Ilustración XLI. Flexión de bisagra (2017).	100
Ilustración XLII. Mecanismo en flexión (2017).	100
Ilustración XLIII. Pérdida de tensión por elásticos (2017).	100
Ilustración XLIV. Modelo de primera prueba (2017).	101
Ilustración XLV. Modelo de segunda prueba (2017)	102
Ilustración XLVI. Modelo de tercera prueba (2017).	103
Ilustración XLVII. Modelo de cuarta prueba (2017).	104
Ilustración XLVIII. Modelo de quinta prueba (2017).	105
Ilustración XLIX. Modelo de sexta prueba (2017).	106
Ilustración L. Modelo final (2017).	107
Ilustración LI. Modelo final vista lateral y posterior (2017).	107
Ilustración LII. Vista frontal de usuario y prótesis (2017).	109
Ilustración LIII. Muestra de proporción corporal con prótesis (2017).	109
Ilustración LIV. Prueba de fuerza de prensión manual (2017).	110

Ilustración LV. Entrega de prótesis final (2017).....	114
Ilustración LVI. Prueba dinámica de prótesis con usuario (2017).....	114
Ilustración LVII. Suspensión flexible en prototipo (2017).....	115
Ilustración LVIII. Entrevista de Intervención Creativa (2017).....	115
Ilustración LIX. Dispositivo terminal de prótesis Modelo Básico (izq.) y prototipo para soldar (der) (2017).....	116
Ilustración LXI. Prueba de soldadura con prototipo (2017).....	116
Ilustración LXI. Reacción durante prueba de prototipo (2017).....	116
Ilustración LXII. Soporte para porta electrodo (2017).....	117
Ilustración LXIII. Morahand, prótesis para trabajos de soldadura (2017).....	117
Ilustración LXIV. Prueba con prótesis para soldadura (2017).....	118
Ilustración LXV. Prueba con prótesis vista lateral (2017).....	118

Índice de diagramas

Diagrama I. Proceso para fabricación de prótesis mexicano (2017).....	30
Diagrama II. Proceso para fabricación de prótesis mexicano no regulado (2017).....	34
Diagrama III. Experiencia de usuario (2017).....	36
Diagrama IV. Propuesta de servicio (2017).....	42
Diagrama V. Imagen corporativa en positivo (2017).....	46
Diagrama VI. Imagen corporativa en negativo (2017).....	47
Diagrama VII. Estructura de página web (2017).....	48
Diagrama VIII. Esquema de estado en proceso (2017).....	61
Diagrama IX. Diagrama de generador paramétrico (2017).....	70
Diagrama X. Explosivo de prótesis estándar (2017).....	119

Índice de tablas

Tabla I. Framework de difusión (2017).....	43
Tabla II. Framework de contacto con la empresa (2017).	44
Tabla III. Framework de plataforma web (2017).....	45
Tabla IV. Framework de medición corporal (2017).....	68
Tabla V. Framework de generador de modelo paramétrico (2017).	69
Tabla VI. Muestra de análogos (2017).	74
Tabla VII. Análisis técnico (2016).....	75
Tabla VIII. Descripción de incógnitas técnicas (2017).	76
Tabla IX. Análisis ergonómico (2016).	77
Tabla X. Descripción de incógnitas ergonómicas (2017).....	78
Tabla XI. Parametrización de requerimientos funcionales (2017).....	79
Tabla XII. Parametrización de requerimientos tecnológicos (2017).....	80
Tabla XIII. Parametrización de requerimientos estructurales y económicos (2017).....	81
Tabla XIV. Parametrización de requerimientos formales (2017).	82
Tabla XV. Parametrización de requerimientos ergonómicos part 1 (2017).....	83
Tabla XVI. Parametrización de requerimientos ergonómicos part 2 (2017).....	84
Tabla XVII. Framework de generador de impresión de modelo 3D (2017).....	85
Tabla XVIII. Framework de limpieza y ensamble (2017).	86
Tabla XIX. Framework prueba de pieza con usuario (2017).....	87
Tabla XX. Framework de entrega (2017).	88
Tabla XXI. Framework de intervención creativa total (2017).	90
Tabla XXII. Framework de intervención creativa parcial (2017).	91
Tabla XXIII. Perfil de sujeto 01 (2017).	108
Tabla XXIV. Calculo de costos (2017).	120
Tabla XXV. Cotización de piezas a través de servicio de impresión 3D subcontratado (Proyecto CREA, 2017).	120
Tabla XXVI. Calculo de amortización de Impresoras 3D (2017).....	121
Tabla XXVII. Precio de rollos de filamento para impresión 3D (2017).....	121
Tabla XXVIII. Calculo de costo energético (2017).....	121
Tabla XXIX. Calculo de salario por hora (2017).	122

Tabla XXX. Calculo de cobro por amortización de maquinaria y herramientas (2017).	123
Tabla XXXI. Calculo de gasto en insumos empleado (2017).....	123

Introducción

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo diseñar un sistema innovador de productos y servicios, alternativo a los que se utilizan en México en la atención y fabricación de prótesis para personas con discapacidad en miembro superior por amputación traumática. También busca aprovechar tecnologías como el Internet, escaneo e impresión 3D para integrar en un mismo servicio todos los agentes relacionados con la atención al discapacitado y la fabricación de prótesis. Finalmente, se empodera al usuario para generar sus propias soluciones protésicas y afectar positivamente en su calidad de vida.

La necesidad surge de una iniciativa dedicada a entregar prótesis fabricadas mediante impresión 3D a personas de escasos recursos, dichas prótesis gracias a su proceso de manufactura demandan poco tiempo y dinero. Adicionalmente, plantean al usuario la posibilidad modificar la estética según sus preferencias. No obstante, su diseño resulta ser empírico, no ergonómico y limitante. Si bien, inclina la balanza hacia el usuario en la relación costo-beneficio, este tipo de prótesis que buscan suplantar las funciones del miembro superior se quedan cortas en comparación con las que se ofertan en el mercado, mismas que por su elevado costo solo pueden acceder pocas personas.

Estas circunstancias contradicen las afirmaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Banco Mundial (BM) (2011) que dictan “Las personas con discapacidad obtienen resultados más pobres en el ámbito educativo y en el mercado laboral y tienen más probabilidades de ser pobres que las personas sin discapacidad” (p.44).

Es decir, una persona que vive con discapacidad está en desventaja económica al resto de la población y no es probable que pueda permitirse adquirir una prótesis o pagar su mantenimiento. Si bien es cierto que en el país existen instituciones de salud pública que apoyan el financiamiento de prótesis, la burocracia, corrupción y la falta de experiencia del sistema termina por orillar al usuario a renunciar por fatiga. La impresión 3D de prótesis otorga soluciones a esta situación al reducir los costos y tiempos de producción, pero deja de lado el trabajo del protesista, por sacrificar funcionalidad y ergonomía. Es importante resaltar que, ya sea por falta de desarrollo tecnológico o poca inversión del sector médico, son contadas las instituciones o servicios que hagan uso de esta tecnología.

En este contexto sus opciones son: una estética y económica prótesis con funcionalidad limitada o una prótesis funcional con elevado precio. Ante este panorama queda preguntarse ¿Qué valora más este tipo de usuario?

Cuando una persona pierde ambos brazos, normalmente usa prótesis de extremidad superior casi todo el día, puramente por necesidad. Pero una persona que pierde un brazo puede aprender a hacer la mayoría de las cosas con una mano haciendo uso de la parte que le queda del brazo amputado, sin necesidad de utilizar la prótesis. Cuando una persona se acostumbra cada vez más a desarrollar habilidades con una sola mano, disminuye su necesidad de usar la prótesis. Por el contrario, una persona con una amputación de extremidad inferior, que puede caminar con una prótesis, generalmente prefiere usarla todo el día. Muchas personas que han sufrido una amputación de extremidad superior prefieren usar la prótesis sólo a ratos, para tareas específicas, o no usarla en absoluto...

Los seres humanos somos criaturas muy adaptables e innovadoras; usamos lo que tenemos. Incluso si ataran su mano con cinta adhesiva, de forma que no pudiera agarrar cosas, uno se asombraría de cuánto continuaría usando el brazo para empujar, tirar, acarrear y colocar cosas, incluso a veces sin siquiera tener que mirar al objeto. Esto es más difícil de realizar con una prótesis. Una prótesis brinda a la persona mayor capacidad de agarre y manipulación de objetos, pero impone una exigencia tanto física como mental. Para algunas personas, puede ser como usar una mano con un guante grueso. No hay sensación de contacto con el entorno. No se siente como si fuera parte de uno mismo. (Douglas G. Smith, 2007, p.2-3)

Las afirmaciones del doctor Smith cuestionan si una prótesis por si sola es la mejor forma de tratar la ausencia del miembro superior. A menos que se cuenten con los recursos para hacerse de una prótesis capaz de reemplazar la mayoría de las funciones de la mano humana, será necesario explorar en busca de una respuesta más integral para este problema. Si el costo y la tecnología limitan el rango funcional al que el usuario tiene acceso, es necesario explorar otros aspectos del mismo que se pueden satisfacer. La OMS hace que centremos nuestra atención en cómo el pleno desenvolvimiento de los discapacitados en la sociedad se ve mermado por barreras impuestas por ellos mismos y terceros;

Las actitudes y conductas negativas repercuten negativamente sobre los niños y adultos con discapacidad, y generan consecuencias negativas, como baja autoestima y menor grado de participación [sic]. Las personas que se sienten acosadas por su discapacidad a menudo evitan acudir a otros lugares, cambiar sus rutinas o incluso salir de sus hogares. (OMS, BM, 2011, p.7)

Se puede observar la necesidad de soluciones basadas en enfoques tan complejos como la situación a la que se enfrentan día a día las personas con discapacidad por ausencia de miembro superior. No es posible que un producto por sí solo atienda estas necesidades, razón por lo que tener una visión amplia del problema se vuelve crucial antes de elaborar alguna propuesta.

Capítulo I. Planteamiento del problema

I.1 Problema

Vivir con discapacidad en miembro superior en México hace mella en la calidad de vida del usuario y sus familias, a consecuencia de la mala calidad y poca variedad de servicios para su atención y cuidado.

I.2 Objetivos

I.2.1 Objetivo general

Diseñar un sistema producto-servicio de innovación para la atención y fabricación de prótesis de personas con discapacidad en miembro superior por amputación.

I.2.2 Objetivos específicos

- Integrar a los diversos agentes involucrados en la atención al discapacitado y fabricación de prótesis.
- Aprovechar tecnologías como la manufactura aditiva y demás procesos de fabricación digital para reducir costos y tiempo en el proceso de fabricación de prótesis.
- Optimizar la atención y servicio al usuario mediante la innovación del servicio y la asimilación tecnológica del internet y redes sociales.
- Otorgar herramientas al usuario para que a través del empoderamiento y diseño de sus propias soluciones pueda mejorar su calidad de vida.
- Crear canales de comunicación entre el usuario y el protesista que repercutan directamente en el diseño final.

I.3 Justificación

Actualmente el sistema de salud mexicano atiende a menos del 5% de las personas con discapacidad por amputación o falta del miembro superior (Vázquez, 2015, p.1). Las pocas instituciones encargadas de brindar este servicio carecen de los recursos necesarios para satisfacer la demanda, y resulta difícil para alguien en situación de discapacidad poder hacer uso de servicios privados con precios muy lejanos al presupuesto de un salario y sin garantías sobre el producto final. Los procesos utilizados en la fabricación de prótesis son lentos, tediosos y demandan habilidades artesanales por parte de los protesistas mismos que, según la Sociedad Mexicana de Ortesistas y Protesistas (2015), solo 20% tiene alguna certificación o estudio.

Únicamente si se desarrollara tecnología que por un precio accesible para todos los estratos sociales, reemplace en su totalidad la función y sensaciones de una mano humana, las prótesis podrían ser la solución definitiva para el complejo problema que es vivir con discapacidad de miembro superior.

Si bien con la popularización y abaratamiento de la manufactura aditiva empezaron a surgir iniciativas que, al hacer uso de ella, fabrican prótesis personalizadas de bajo costo y con tiempos de fabricación muy cortos. Estas aún están lejos de ser la solución idónea. Ya sea por incompatibilidades ergonómicas, funcionales o simplemente porque no se adaptan al particular contexto de nuestro país. De estas iniciativas es rescatable poder involucrar nuevos agentes en el proceso de fabricación de prótesis. Mismos que aportan nuevos puntos de vista y dejan de manifiesto que cuando a una persona se le permite diseñar sus propias soluciones protésicas inmediatamente adquieren mucho más valor funcional y emocional que una prótesis convencional. Una vez que un individuo pasa de ser un espectador a ser el maquinador de sus soluciones, incorpora más fácilmente la prótesis a su persona.

I.4 Hipótesis

La hipótesis de éste proyecto plantea que al involucrar al usuario en el proceso de fabricación de prótesis y otorgarle herramientas para que participe activamente en el diseño de la misma, se afectará positivamente su calidad de vida tanto en corto como largo plazo.

Capítulo II. Marco teórico

II.1 Marco conceptual

A continuación se describen los temas y conceptos relevantes que se manejarán a lo largo de este proyecto de investigación.

I.1.1. Discapacidad

Dado que “discapacidad” es un concepto entorno al cual gira este proyecto de investigación, es importante aclarar a qué nos referimos cuando hablamos del mismo. Hoy en día se sabe que la discapacidad es una condición compleja que involucra gran cantidad de factores físicos y emocionales que evolucionan constantemente.

Conscientes de esto se utiliza la definición de la OMS y el BM en su Informe Mundial sobre Discapacidad (2011):

El término genérico «discapacidad» abarca todas las deficiencias, las limitaciones para realizar actividades y las restricciones de participación, y se refiere a los aspectos negativos de la interacción entre una persona (que tiene una condición de salud) y los factores contextuales de esa persona (factores ambientales y personales). Se reconoce que la discapacidad es un «concepto que evoluciona», pero también destaca que la discapacidad «resulta de la interacción entre las personas con deficiencias y las barreras debidas a la actitud y el entorno que evitan su participación plena y efectiva en la sociedad en igualdad de condiciones con los demás». Si se define la discapacidad como una interacción, ello significa que la «discapacidad» no es un atributo de la persona. Se pueden lograr avances para mejorar la participación social abordando las barreras que impiden a las personas con discapacidad desenvolverse en su vida cotidiana. (p. 4)

Estos afirman que la discapacidad es más que un impedimento físico, se reconoce la importancia de la participación social del individuo para sobrellevar su condición y se invita a las diferentes áreas científicas y tecnológicas a trabajar para mejorar las interacciones entre estas personas y su entorno. La discapacidad no es un problema de unos pocos, sino de todos.

Más de mil millones de personas viven en todo el mundo con alguna forma de discapacidad y en los años futuros la discapacidad será un motivo de preocupación aún mayor, pues su prevalencia irá en aumento, debido a que la población está envejeciendo y el riesgo de discapacidad es superior entre los adultos mayores (OMS, BM, 2011, p. xi).

II.1.1 Amputación de miembro superior

Amputación: Remoción o resección total o parcial de una extremidad seccionada a través de uno o más huesos, en forma perpendicular al eje longitudinal del miembro. En relación al mecanismo de producción puede ser de dos tipos:

- Amputación Primaria o Traumática: Es aquella producida por un agente traumático.
- Amputación Secundaria o Quirúrgica; Es aquella electiva o programada para ser realizada por medio de un acto quirúrgico (Fernández, Gonzáles, 2000, p. 235).
- Miembro superior: El esqueleto del miembro superior se compone de brazo, antebrazo, mano y dedos (Horcajada, 2012, p. 34).

La amputación de miembro superior corresponde a la remoción total o parcial del brazo, antebrazo, mano o dedos. La investigación se centra en amputación de tipo traumática de miembro superior a razón de la poca investigación realizada acerca del tema como consecuencia de la baja incidencia cotejada con su homólogo en miembro inferior, mucho más común debido a casos de diabetes, vulnerando este menor pero aún cuantioso foco poblacional. Por otra parte, el proceso de adaptación tras haber perdido un miembro de forma traumática tiende a ser más difícil que cuando se nace sin el mismo o se pierde a temprana edad.

II.1.2 Muñón o miembro residual

Es lo que queda de la extremidad después de la amputación, y para que sea funcional, es necesario que tenga un brazo de palanca suficiente para el manejo de una prótesis, que no sea doloroso y que sea capaz de recibir pesos y presiones. Por lo tanto, hay que fabricar un muñón que sea capaz de recibir y adaptarse a una prótesis, y para que ello suceda, es necesario que el nivel sea conveniente, que las articulaciones del muñón sean suficientemente móviles. Si el muñón tiene una musculatura potente, si no hay trastornos

circulatorios y si la piel está bien endurecida, se puede considerar como un buen muñón (Fernández, Gonzáles, 2000, p. 236).

II.1.3 Nivel de amputación

El nivel de amputación es la altura a la cual se secciona una parte del cuerpo. Los niveles de amputación en miembro superior se clasifican en:

- Amputación de dedo
- Amputación parcial de mano
- Desarticulación de la mano
- Amputación transradial
- Desarticulación del codo
- Amputación transhumeral
- Desarticulación del hombro
- Amputación interescapulotorácica (Hangerclinic, 2015)

Fernández y Gonzáles (2000) mencionan:

Cuanto más elevado es el nivel de amputación, más articulaciones se pierden y hay menos potencia, debido a la pérdida muscular y al menor brazo de palanca para controlar una prótesis. Siempre es preferible una buena amputación a cualquier nivel, que una amputación de mala calidad a nivel más bajo. Por lo tanto, se debe preservar lo más posible de la extremidad comprometida, tomando en consideración no solo su longitud, sino los niveles funcionales de la misma, es decir, las articulaciones. (p. 236)

Actualmente las prótesis pueden adaptarse a niveles no ortodoxos de amputación. Otros prefieren respetar los niveles tradicionales establecidos. Lo importante es que el nivel de amputación debe permitir el uso de una prótesis. Cualquier nivel puede ser usado para realizar una amputación, es decir, son infinitos desde la raíz del miembro hasta la porción más distal. Muchas veces el nivel lo determina la extensión de la lesión o enfermedad que compromete el miembro. Sin embargo, frente a ellos tenemos los que se ha dado en llamar “niveles ideales”. Se les denomina así, porque conservan buena movilidad, fuerza y buen brazo de palanca que les permite la adaptación y manejo de la prótesis. (Fernández, Gonzáles, 2000, p. 237)

II.1.4 Prótesis

Para poder categorizar el proyecto como un servicio generador de prótesis, debemos definir el entendido de este concepto. Según la norma ISO 8549-1:1989(1989) “una prótesis es un aparato externo usado para reemplazar total o parcialmente un segmento de un miembro deficiente o ausente. Incluyendo cualquier dispositivo que tenga una parte dentro del cuerpo humano con fines estructurales o funcionales (p. 1).

Los elementos de una prótesis según Fernández y Gonzáles (2000) son:

- Elementos de suspensión: Mantiene la prótesis en su lugar
- Elementos de control: Correas o cables que actúan y transmiten los movimientos al miembro artificial
- Conos de enchufe o socket: Parte que se adapta al muñón
- Articulaciones: Que reemplazan a las anatómicas
- Dispositivos terminales: Son elementos que se colocan en sustitución de la mano

(p. 242-243) (Véase Ilustración I)

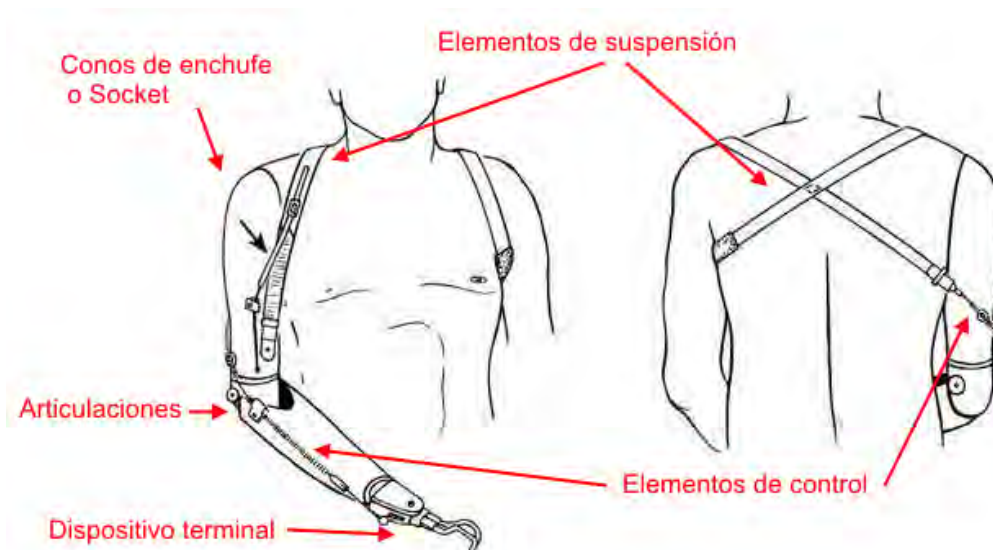


Ilustración I. Elementos de prótesis (Digital Resource Foundation, 1960)

II.1.5 Manufactura aditiva: Impresión 3D

En busca de emplear procesos tecnológicos de vanguardia que representen ahorros en tiempo y costo tanto para el fabricante, como para el usuario final, se opta hacia la impresión 3D.

La impresión 3D o bajo su nombre técnico “Manufactura aditiva”, permite crear objetos con formas nunca antes posibles con procesos convencionales gracias a la especial técnica de manufactura empleada. Esta no es una tecnología nueva, sino que ha estado presente desde hace décadas, sin embargo, es en los últimos años que la tecnología de impresión 3D se popularizó en el mercado, impulsada por nuevos avances en poder de procesamiento, programas de diseño, materiales y el combustible de la innovación; el internet.

Su funcionamiento es simple, la impresora, guiada por instrucciones en el archivo de diseño, deposita o solidifica material, que puede venir en forma de polvo, fundido o líquido dependiendo el tipo de tecnología empleada, en un patrón plano específico. Después de que la primera capa ha solidificado, el cabezal de la impresora 3D regresa y deposita otra capa de material sobre la primera. Cuando la segunda capa ha solidificado, se agrega otra sobre ella y así sucesivamente. Eventualmente, las capas unidas constituirán un objeto de tres dimensiones manipulable en el mundo físico. Las impresoras 3D no cortan o moldean material de la misma manera en que los humanos o las máquinas de manufactura tradicional lo hacen. Hacer los objetos mediante capas de material abre un rango de posibilidades para hacer tangibles conceptos digitales. Si la forma de un diseño precisa tener orificios internos o partes interconectadas, la impresora 3D es el primer dispositivo capaz de traer semejante diseño del mundo digital al material. (Lipson y Kurman, 2013, p. 11-12)

“Las variantes en tecnología de impresión 3D pueden dividirse en dos grandes familias. La primera familia a la que llamaremos impresoras de deposición selectiva” deposita capas de materia prima para fabricar objetos. Esta clase de tecnología extruye, rocía o aplica líquido, pasta o material prima en polvo a través de alguna clase de boquilla o jeringuilla. Las impresoras 3D utilizadas caseramente en los hogares y oficinas son usualmente de este tipo ya que las de laser o grado industrial pueden ser muy frágiles o peligrosas...

La segunda familia que enlaza [no deposita o agrega] materia prima, generalmente somete la materia prima a la influencia de un láser o compuesto adhesivo. Esta tecnología

llamada “impresoras de enlace selectivo” utiliza luz o calor para solidificar polvo o polímero fotosensible...” (Lipson y Kurman, 2013, p. 68)

II.1.5.1 Fused Deposition Modeling [FDM]

De entre todas las tecnologías de impresión 3D, y tras evaluar los pros y contras de cada una, se determinó que la mejor opción para el servicio es la llamada FDM o Fused Deposition Modeling, nombre técnico empleado para la familia de impresoras de deposición selectiva. En palabras de Lipson y Kurman (2013):

Una impresora FDM hace pasar material a través de una cabeza de impresión o boquilla (Véase Ilustración II). La materia prima empleada debe de ser de plástico suave que se endurezca una vez que toque la plancha de impresión. Las ventajas

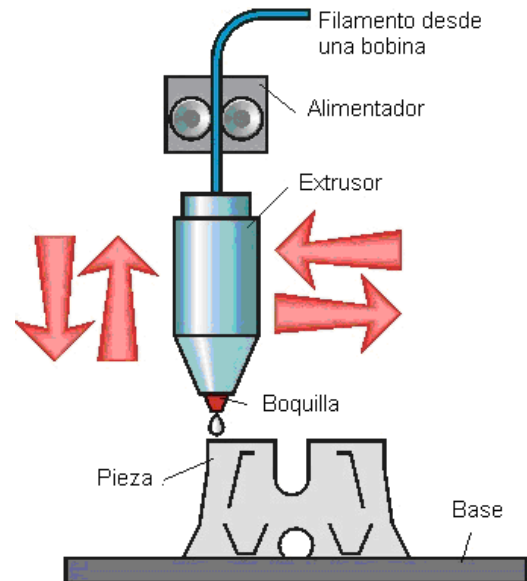


Ilustración II. Tecnología FDM (3DVisual, 2014).

sobre las demás tecnologías son bastas. Principalmente tenemos que dicha tecnología puede ser simplificada en impresoras con tecnología básicas, de fácil comprensión y bajo costo. Pueden utilizar un amplio rango de materiales. Cualquier materia prima que pueda ser extruida a través de una boquilla pueden ser empleada para imprimir en 3D, plástico, arcilla, queso, masa para galletas e inclusive células humanas vivas en un gel de nutrientes son algunos de los materiales comúnmente empleados. (P. 69-70)

Estas características hacen que una mayor cantidad de usuario puede hacer uso casero de estas impresoras por lo que es una opción accesible en todo aspecto.

II.1.6 Diseño estratégico

La metodología empleada, es la de diseño estratégico bajo la filosofía de *Design Thinking* y Diseño Centrado en el Humano;

El diseño estratégico es una actividad de diseño relacionada con el sistema de producto; la integración de productos, servicios y estrategias de comunicación que un actor o redes de actores (empresas, instituciones, organizaciones sin fines de lucro, etc.) conciben y desarrollan para obtener un conjunto de resultados estratégicos específicos. El Diseño Estratégico prepara a los profesionales para que sean capaces de llevar a cabo una función de diseño y / o gestión dentro del proceso de innovación del sistema de productos, con un claro sentido de integración entre los productos, servicios y componentes de comunicación y una sensibilidad especial hacia la sostenibilidad social y ambiental, la identidad local y los valores culturales. (MDS presentation, 2008)

II.1.6.1 Diseño Centrado en el Humano, Human-Centered Design [HCD]

El Human- Centered Design o Diseño Centrado en el Usuario es un proceso de diseño usado para crear nuevas soluciones para el mundo. Estas contemplan el producto, servicios, el ambiente, organizaciones y modos de interacción entre las partes.

La razón por la que es llamado “Centrado en el humano” es porque comienza por analizar a las personas para las que se diseña. El proceso examina las necesidades, sueños y comportamientos de las personas a las que queremos impactar con nuestras soluciones, busca escuchar y comprender que es lo que ellos quieren, ver el mundo a través del punto de vista del usuario, para así plasmar este punto de vista en el proceso.

El proceso de diseño HCD parte de un desafío específico de diseño y avanza por 3 momentos principales. Escuchar, Crear y Entregar. Se parte de la observación atenta hacia el usuario, se abstraen los descubrimientos relevantes o significativos y se concretan en soluciones tangibles. (Véase Ilustración III)

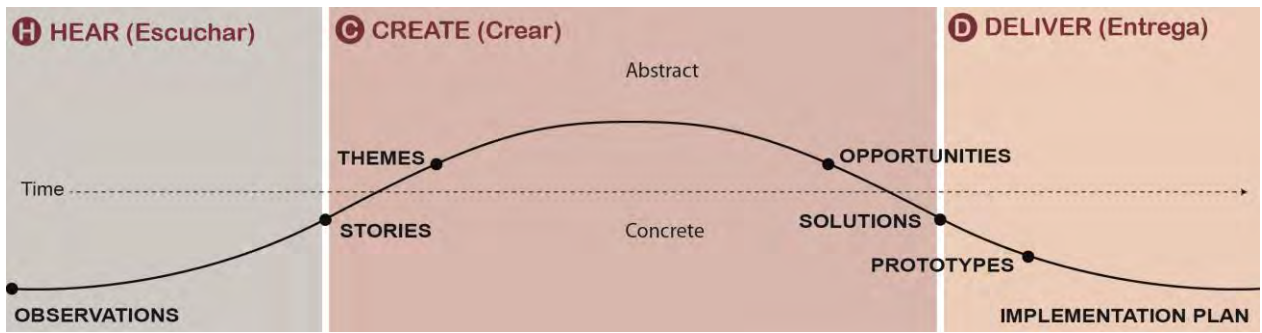


Ilustración III. El proceso HCD (IDEOy Bill and Melinda Gates Foundation, 2011).

- Escuchar: Durante esta fase el equipo de diseño se dedica a recolectar testimonios e inspiración de las personas. Esta fase se conduce como trabajo de campo.
- Crear: En la fase de crear, se trabaja en equipo con un formato de workshop para convertir los datos y experiencias recopilados en puntos clave, oportunidades, soluciones y prototipos. Se va de lo más concreto hacia el pensamiento abstracto para identificar temas y oportunidades para luego volver al pensamiento concreto con soluciones y prototipos.
- Entrega: En esta fase se analiza las soluciones propuestas en busca de un estimado de ingresos y costos, evaluación de capacidades y la planificación de la ejecución. Esto ayuda a lanzar las nuevas soluciones al mundo (IDEOy Bill and Melinda Gates Foundation, 2011, p. 7-9).

II.1.6.2 Design Thinking

Es una metodología para generar ideas innovadoras que centra su eficacia en entender y dar solución a las necesidades reales de los usuarios. Proviene de la forma en la que trabajan los diseñadores de producto. De ahí su nombre, que en español se traduce de forma literal como "Pensamiento de Diseño" (Design Thinking, 2017).

Según Tim Brown (s.f), CEO de IDEO, el Design Thinking "Es una disciplina que usa la sensibilidad y métodos de los diseñadores para hacer coincidir las necesidades de las personas con lo que es tecnológicamente factible y con lo que una estrategia viable de negocios puede convertir en valor para el cliente, así como en una gran oportunidad para el mercado".

El portal web oficial de Design Thinking (2017) en su versión en español señala el proceso compuesto por cinco etapas no lineales. Por lo que en cualquier momento se puede ir hacia atrás o hacia delante si se ve oportuno, saltando incluso a etapas no consecutivas. Se recolectara información que crecerá o disminuirá dependiendo de la fase en la que se encuentre (Véase Ilustración IV). A lo largo del proceso se afinara el contenido hasta desembocar en una solución que cumpla con los objetivos del equipo.

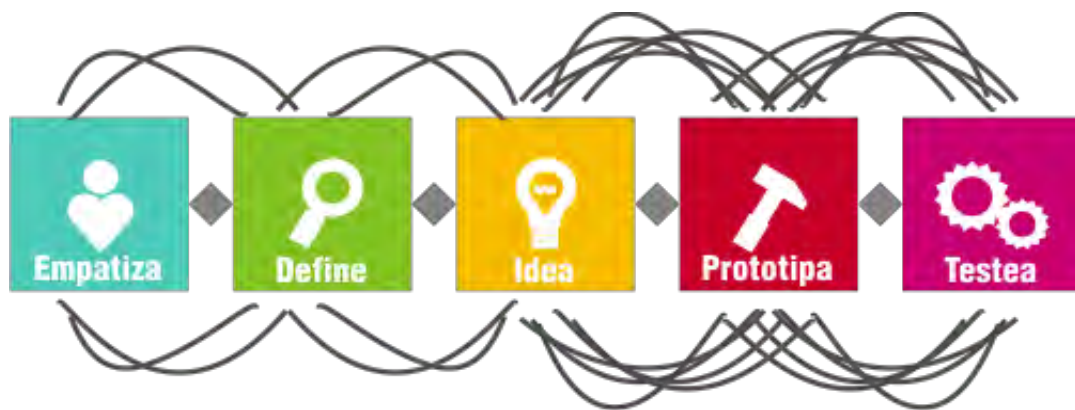


Ilustración IV. Metodología Design Thinking (Design Thinking, 2017).

EMPATIZA: Comienza con una profunda comprensión de las necesidades de los usuarios implicados en la solución a desarrollar, y también de su entorno. Se debe ser capaz de ponerse en la piel de dichas personas para ser capaces de generar soluciones consecuentes con sus realidades.

DEFINE: Se filtra la información recopilada durante la fase de Empatía y se conserva lo que realmente aporta valor y conduce a nuevas perspectivas interesantes. Se identifican problemas cuyas soluciones serán clave para la obtención de un resultado innovador.

IDEA: Se busca la generación de un sinfín de opciones. En esta fase, las actividades favorecen el pensamiento expansivo y se deben eliminar los juicios de valor. A veces, las ideas más estrambóticas son las que generan soluciones visionarias.

PROTOTIPA: En este punto se vuelven las ideas realidad. Construir prototipos hace las ideas palpables y ayuda a visualizar las posibles soluciones, se pone de manifiesto elementos que se deben mejorar o refinar antes de llegar al resultado final.

TESTEA: Se prueban los prototipos con los usuarios implicados en la solución en desarrollo. Esta fase es crucial, y ayuda a identificar mejoras significativas, fallos a resolver o posibles carencias. Durante esta fase evoluciona la idea hasta convertirse en la solución que se buscaba (Design Thinking, 2017).

II.1.7 Diseño paramétrico

Uno de los planteamientos más innovadores en el documento es la implementación del diseño paramétrico, y se define como:

El Diseño paramétrico es la generación de geometría a partir de la definición de una familia de parámetros iniciales y la programación de las relaciones formales que guardan entre ellos. Consiste en la utilización de variables y algoritmos para generar un árbol de relaciones matemáticas y geométricas que permitan no sólo llegar a un diseño, sino generar todo el rango de posibles soluciones que la variabilidad de los parámetros iniciales nos permitan (ParametricCamp, 2017).

II.1.8 Proceso de innovación

Cuando se habla de innovación en el servicio en esta investigación se acota a la concepción de Kumar (2012) que define “*innovación* como una oferta viable nueva en un contexto y tiempo específico, creando usuarios y otorgando valor” (p. 1).

Así mismo, se entiende la innovación aplicada a empresas y organizaciones bajo el modelo de oportunidad en diez categorías propuesto por Keeley, Pikkell, Quinn y Walters (2013) en el framework de Diez Tipos (Véase Ilustración V), este está estructurado en tres categorías por código de color. Las categorías en la parte superior están orientadas hacia la parte interna de la organización, la más distante a los clientes. Conforme se descende en la tabla las categorías se encuentran cada vez más en contacto con los usuarios.

CONFIGURACIÓN	Modelo de Ganancia	La forma en que generas ganancias
	Redes	Conexiones con otros para crear valor
	Estructura	Forma en que coordinas tus recursos tangibles e intangibles para generar valor
	Proceso	Tarea o proceso principal e indispensable que se desempeña
OFERTA	Rendimiento del Producto	Características y funcionalidades que te distinguen del resto
	Sistema del Producto	Productos y servicios complementarios al principal Soporte y mejora alrededor de tu oferta
EXPERIENCIA	Servicio	Soporte y mejora alrededor de tu oferta
	Canales	Como se entregara tu oferta a los clientes y usuarios
	Marca	Representación de tu oferta y negocio
	Vinculación con el usuario	Interacciones distintivas que fomentas

Ilustración V. Framework Diez tipos de innovación (Keeley, Pikkell, Quinn y Walters, 2013).

II.2 Marco contextual

Con el marco contextual describiremos el entorno en el que viven en el país las personas con discapacidad en miembro superior, así como las instituciones encargadas de ofertar soluciones que mejoren su calidad de vida.

II.2.1 Discapacidad de miembro superior en México

En México no existe una institución encargada exclusivamente de la atención y cuidado del amputado. Por lo que hay poca información de fuentes fidedignas. Asimismo, las bases de datos existentes manejan información generalizada, y no estratifica el tipo de amputación a pesar de cada uno requerir un tratamiento especializado. En el año 2015 el Instituto Nacional de Información y Estadística (INEGI) reportó en 780 mil el número de amputados. Mientras que la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición en el año 2012 registró que más de 5 millones de personas tienen incapacidad para desplazarse, sin distinguir a los que han sufrido alguna amputación. Según la Academia Nacional de Cirugía se amputan en el país 75 personas diarias, cifra que anualmente supera los 27 mil amputados (Vázquez, 2015).

Es observable que las instituciones tanto públicas como privadas son insuficientes. Desde el sector público, el DIF Nacional tiene tan sólo 11 unidades que fabrican prótesis en todo el país, y debido a la falta de presupuesto, la capacidad de fabricación es de aproximadamente 400 al año; por su parte, el Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) ha reportado la entrega de prótesis a 120 pacientes anualmente. Las instituciones de iniciativa privada como el Centro para Rehabilitación Integral De Minusválidos del Aparato Locomotor (CRIMAL IAP) Querétaro y los Centros de Rehabilitación Infantil (CRIT) producen prótesis para 120 y 775 pacientes respectivamente, cada año (citado por Vázquez, 2015). En un país donde al año hay más de 27 mil amputados la producción de prótesis cubre apenas el 5% de la demanda. Hay una carencia de fabricantes de prótesis, ya que, el número de técnicos capacitados supera apenas los 3 mil.

Se estima en México la existencia de más de 2 mil talleres o laboratorios de prótesis y órtesis. La mayoría trabaja con personal que no tiene preparación académica y transmite de manera empírica el conocimiento. En este contexto, Carlos Alberto Ramos Vizcaino, presidente de la Sociedad Mexicana de Órtesistas y Protesistas, estima que cerca del 20% de los fabricantes de prótesis y órtesis en México tiene algún estudio en la materia.

El INR impartió durante 40 años la carrera técnica en prótesis y órtesis, que posteriormente se convirtió en licenciatura, sin embargo desde hace unos años ya no aparece en su oferta educativa. Por lo que son pocas las escuelas técnicas o instituciones de nivel superior, que ofrecen dentro de sus planes de estudio esta especialidad (citado por Sánchez, 2015).

Mientras que en otros países la fabricación de prótesis es una ciencia en constante desarrollo, en México parece convertirse cada vez más en un oficio.

II.2.2 El precio de vivir sin un miembro

Además de la limitada oferta de prótesis en el mercado mexicano, las personas amputadas deben enfrentar otro problema: el costo. En 2015, el gasto para la función de Salud en México representó el 2.8% de su PIB, uno de los porcentajes más bajos entre los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], la cual informa que alrededor de la mitad de todo el gasto en salud en México es pagado directamente por los pacientes.

En este marco, durante 2015 el costo directo de una amputación de miembro inferior causada por diabetes tipo 2, responsable del 81% de las amputaciones en el país, varió de 520 mil pesos a 1 millón de pesos; en los casos de las amputaciones de una mano, sin prótesis, es de hasta 520 mil pesos. A los costos anteriores, falta incluir el precio por adquirir una prótesis de manera independiente, es decir de 20 mil a 300 mil pesos más. Además, la incertidumbre de estar frente a un protesista poco preparado, lo que implica que la prótesis sea inservible en términos ergonómicos (Hilar, 2015).

Como lo menciona José Ramón Álvarez Bada (citado por Sánchez, 2015), coordinador del Programa de Ingeniería Biomédica de la Universidad Anáhuac, en el contexto mexicano de fabricación de prótesis y órtesis no hay un tipo de norma que deban obedecer, ni siquiera la Norma Oficial Mexicana en el sentido estricto de la palabra, entonces como no hay normas se puede hacer cualquier cosa.

II.2.3 La frustración del contexto

Los usuarios que de una u otra forma logran hacerse de una prótesis de miembro superior. Muestra su inconformidad al no poder satisfacer sus necesidades diarias.

No me quedaba bien. Me dijo ahí está tu prótesis, trata de abrir el gancho, pero yo nunca lo pude abrir porque por más queforcé mi mano a mí se me enterraba (el socket) y nunca logré abrir el gancho. Entonces le quitó una liga y ya con dos ligas fue cuando la pude abrir, pero tenía que forzar mucho para poderla abrir. El siguiente paso fue que yo le dije que me molestaba aquí de mis huesitos de mi codo y me dijo que iba a rebajarle, que me esperará, que no me fuera, que le iba a rebajar (al socket). Me saca de su laboratorio, espero en la sala de espera y me vuelve a hablar y ya le había rebajado lo que me había dicho, como un circulito aquí (señala la parte interior de su brazo, a la altura del codo), pero a mí se me seguía enterrando, me lastimaba, tantito quería yo abrir el gancho me lastimaba. Entonces le dije que no, que a mí eso no me había quedado, me molestaba mucho y me dijo que eso es lo que él podía hacer, que fuera a mis terapias y que si sentía alguna molestia que regresara con él. Pero yo sentí que no, ya no le quería hacer nada, le dije que muchísimas gracias, me fui a mis terapias... (Anexo B, párr. 24).

La frustración se apodera de estas personas al descubrir que si no es una prótesis de gancho o una estética de guante de látex, las opciones se reducen a cero.

...Fui otra vez a ver al señor este, pero ya le vi así como que ya no me quería atender, y le dije al doctor - sabe que, prácticamente a mi ese socket que me hizo no me sirvió -, yo lo deseché inmediatamente porque me lastimaba. Yo me quedé con el socket que yo me había mandado hacer por afuera del seguro, el que yo tuve que pagar. (Anexo B, párr. 24).

La experiencia de Javier es sólo uno de los casos existentes en México, donde sobre muchos proyectos de desarrollo de prótesis se ha escuchado, pero pocos responden a la situación económica y necesidades funcionales de los usuarios. "...Yo sólo gano lo que me dan en el seguro, 3 mil y feria es demasiado dinero para pagar. Si me dices que yo te tengo que dar 3 mil pesos al mes, me voy a quedar sin nada" (Anexo A).

II.3 Antecedentes

II.3.1 La impresión 3D en el área de la salud.

Por si sola la impresión 3D presenta grandes beneficios como, permitir el prototipado rápido y reducir el costo de fabricación en piezas individuales. Ya sumada a otras tecnologías y aplicada en el campo de la salud ha ofrecido avances que prometen cambiar el futuro de la medicina actual.

Gracias a la impresión 3D la forma en que se practican las cirugías ha cambiado. Uno de los mayores retos para un cirujano ortopédico es colocar las prótesis y los implantes con la máxima precisión posible. Con la finalidad de llevar cabo esta tarea, los cirujanos utilizan un dispositivo llamado herramienta auxiliar, cuya función básica es la de guiar al cirujano en la colocación de una prótesis. Como se sabe, la morfología corporal varía de persona a persona, por lo que es complicado que una sola herramienta funcione para todas las personas. Mediante el uso de tomografías computarizadas se puede generar un modelo 3D de la zona que será sometida a cirugía. Este modelo se usa como referencia para diseñar herramientas auxiliares personalizadas que se adaptan a la anatomía del paciente y a las circunstancias del procedimiento (Véase Ilustración VI).



Ilustración VI. Herramienta auxiliar fabricada mediante impresión 3D (Sculpteo, 2009).

Antes de la impresión 3D, las herramientas auxiliares personalizadas debían ser fabricadas a mano, por lo que se invertía mucho tiempo y no se garantizaba la precisión de la misma. Estas herramientas se fabrican en Nylon, un material plástico muy común en la impresión 3D SLS, sus principales ventajas son biocompatibilidad, alta resistencia mecánica y permitir su esterilización (Cassaignau, 2015).

Otro cambio positivo en las cirugías atribuible a la impresión 3D es la duración de éstas. El tiempo es un factor determinante durante una cirugía, que impacta en costo y riesgo. Cuanto más demore una cirugía mayor es el costo que esta tendrá, así mismo, entre más tiempo estén expuestos los tejidos internos de un paciente crece el riesgo de que algo salga mal. Por lo que cualquier método que pruebe reducir la duración del procedimiento, sin afectar la eficacia del mismo, tiene gran valor para la medicina y para la pronta recuperación del paciente.

Para los cirujanos maxilofaciales de la *Cliniques Universitaires Saint Luc, Université Catholique de Louvain (UCL)* en Bélgica, la manufactura aditiva es clave si se quiere ahorrar tiempo en el quirófano. Frecuentemente se ven en la necesidad de reconstruir los huesos del cráneo, desde una mandíbula afectada por el cáncer hasta orificios oculares destrozados en un accidente automovilístico. Se utiliza una impresora 3D para que a partir de un escaneo digital de la estructura ósea; elaborar réplicas exactas de la fisionomía del paciente antes de que este sea sometido a una operación (Véase Ilustración VII).

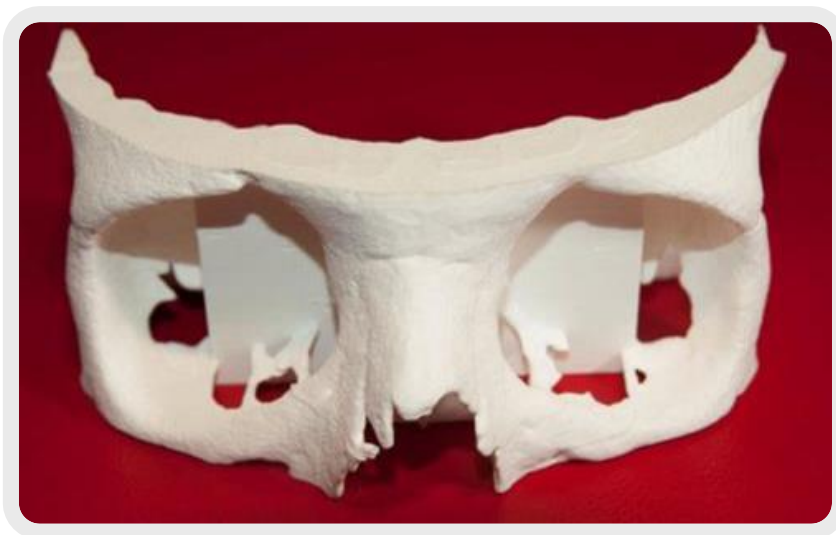


Ilustración VII. Cráneo impreso en 3D. (Mcor technologies, 2013).

Al ser el modelo 3D una copia idéntica, el cirujano lo utiliza, de manera muy precisa, para darle forma a los insertos metálicos que rodearan el hueso residual. Estos insertos pueden ser placas que soporten el daño de la mandíbula o una malla de titanio para reconstruir orificios oculares. Sin el modelo físico 3D para trabajar, los cirujanos se verían forzados a desperdiciar valioso tiempo moldeando las piezas metálicas durante la cirugía, sin mayores herramientas que la prueba y error, lo que repercute en daño a los tejidos (Mcor technologies, 2013).

De las aplicaciones que tiene la manufactura aditiva, quizá la que más expectativas genera es la impresión de órganos. Decenas de pacientes se han visto beneficiados al recibir un órgano cultivado a partir de sus propias células. El proceso es similar al de una impresora de tinta convencional, pero se emplea una especie de tinta biológica compuesta por las células del órgano que se desea replicar y un polímero biocompatible cuya función es servir de andamio y campo de cultivo para que las células implantadas puedan madurar y reproducirse, da como resultado un órgano funcional. Con este proceso se han logrado producir vejigas que han sido trasplantadas en seres humanos (Véase Ilustración VIII) así como obtener tejidos como piel, cartílago e inclusive hueso. Con el tiempo se espera ser capaces de imprimir órganos más complejos como el corazón o el hígado.

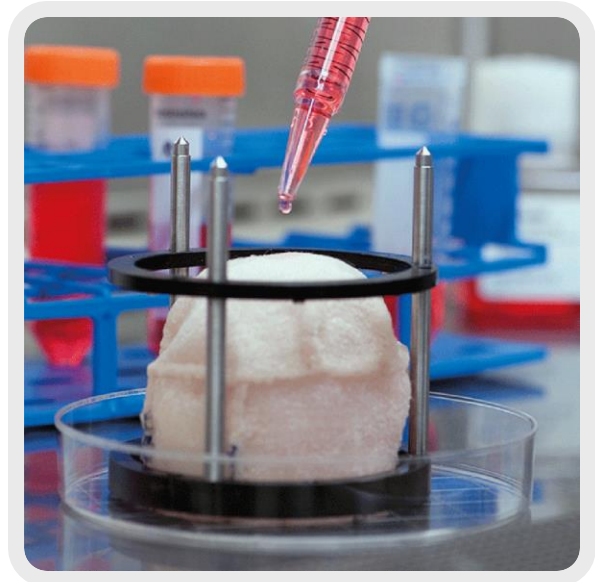


Ilustración VIII. Cultivo de células sobre andamiaje (Wake Forest School of Medicine, 2013).

El uso de esta tecnología evita algunos de los riesgos que los trasplantes de órganos plantean. En primer lugar, no se tiene que esperar por un donante, normalmente la espera puede durar años y es común que los pacientes enfermen más o incluso mueran. En segundo lugar, ya que los órganos de ingeniería se construyen a partir de las propias células de un paciente, no parecen extraños para su sistema inmunológico y no son rechazados. (Warner, 2013)

Actualmente, se encuentra en desarrollo una nueva generación de impresoras de órganos que se espera sea capaz de identificar una lesión y reemplazar el tejido dañado imprimiéndolo directamente sobre el paciente, en la mesa de operaciones (TED talks, 2011).

II.3.2 Trabajo colaborativo y el desarrollo de prótesis

El trabajo colaborativo, también llamado producción entre pares, es un sistema socioeconómico emergente que hace uso de la infraestructura técnica del internet. Lo más destacado de este sistema, es la colaboración entre grandes grupos de individuos, los cuales pueden llegar a ser miles, que cooperan con eficacia para proporcionar información, conocimientos o bienes culturales sin depender del mercado o de un sistema jerárquico para coordinarse en una misión común (Benkler y Nissenbaum, 2006, p.394).

Dicho sistema ha generado algunos de los mejores programas computacionales, la más rápida supercomputadora y las más completas bases de datos. Además, ha sido el responsable de una de las iniciativas más innovadoras del campo de la protésica, el proyecto *ROBOHAND*.

II.3.2.1 Proyecto Robohand

En 2011 Richard Van As, un carpintero de Johannesburgo que perdió 4 dedos de una mano tras un accidente laboral, al no estar satisfecho con las prótesis disponibles para él, decidió que fabricaría una propia. Para llevar a cabo esta tarea y dado sus pocos conocimientos en el tema, contactó vía internet a Ivan Owen, un especialista en efectos especiales, que conoció por un video en la red donde manipula una mano mecánica de su creación.

Ivan vive en Washington a miles de kilómetros de Richard, pero eso no los detuvo. Compartieron sus ideas vía internet y por medio de Skype, construyeron un prototipo de prótesis de dedos funcional, publicaron su trabajo en la red y en poco tiempo una de las empresas más populares en impresión 3D les obsequió una impresora 3D a cada uno para que pudieran continuar con su investigación.

Con ayuda de estas nuevas herramientas, pasaron de fabricar un prototipo en unas semanas a unos cuantos días, y tenían la seguridad de que ambos experimentaban con copias idénticas de su trabajo. Su objetivo es que otras personas sean capaces de construir prótesis de bajo costo para ellos mismo u otros, por lo que compartieron todos los archivos en internet y liberaron los derechos comerciales bajo una licencia de dominio público (MakerBot, 2013).

Este proyecto fue la ante sala de un proyecto más grande llamado *Enabling the future*.

II.3.2.2 Enabling the future

E-nable es una comunidad global de código abierto dedicada al desarrollo de manos y brazos imprimibles con tecnología 3D que busca compartir sus conocimientos con el mundo. Actualmente, el costo promedio de una de estas prótesis es de 45 dólares, después de haber impreso el total de sus piezas se ensambla en aproximadamente 3 horas. Se han impreso más de 2,000 prótesis en alrededor de 45 países (TEDxTalks, 2014).

La comunidad creada por Enable, ha inspirado diversos proyectos en el área protésica. Se busca reemplazar los tediosos métodos de fabricación tradicional que requieren de habilidades artesanales y diferentes técnicas para adaptar la prótesis a la particular anatomía del amputado, por un proceso automatizado que resulte en un producto estético, ajustable y sobre todo costeable. Tal es el caso de la pierna protésica EXO.

II.3.2.3 Pierna protésica EXO

Del diseñador William Root. EXO, automatiza el proceso de producción de una pierna protésica a través del uso de escáneres e impresoras 3D, el costo de la prótesis se reduce al costo del material y el proceso utilizado para su fabricación. Remplazando los numerosos componentes y conectores presentes en una prótesis tradicional por un único exosqueleto impreso en 3D, la pierna ya no es más una robótica e inhumana compilación de partes, sino un elemento estético que al tener la forma original de su cuerpo es más fácilmente aceptado por el amputado (Root, 2014).

Capítulo III. Procedimiento

III.1 Tipo de investigación

La investigación es de enfoque cualitativo. Con alcance inicial exploratorio y diseño de investigación-acción.

El **enfoque cualitativo** al igual que el cuantitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes, y después, para refinarlas y responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien “circular” y no siempre la secuencia es la misma, varía de acuerdo con cada estudio en particular.

Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que tan sólo hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, o bien, si deseamos indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas.

La finalidad de la investigación-acción es resolver problemas cotidianos e inmediatos (Álvarez-Gayou, 2003; Merriam, 2009) y mejorar prácticas concretas. Su propósito fundamental se centra en aportar información que guíe la toma de decisiones para programas, procesos y reformas estructurales. Sandín (2003, p. 161) señala que la investigación-acción pretende, esencialmente, “propiciar el cambio social, transformar la realidad y que las personas tomen conciencia de su papel en ese proceso de transformación”. Por su parte, Elliot (1991) conceptúa a la investigación-acción como el estudio de una situación social con miras a mejorar la calidad de la acción dentro de ella. Para León y Montero (2002) representa el estudio de un contexto social donde mediante un proceso de investigación con pasos “en espiral”, se investiga al mismo tiempo que se interviene (citados por Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p. 7, 76, 509).

III.2 Método y técnicas

La investigación se realizó con la metodología de Diseño Estratégico bajo la filosofía de *Design Thinking* y Diseño Centrado en el Humano. Por lo que se utilizaron estrategias para documentación de campo como entrevistas no estructuradas, sondas culturales, observación efectuada en la vida cotidiana del usuario, entre otras. Como ejemplo de una de las herramientas empleadas fue el identificar las oportunidades en alguno de los 10 tipos de innovación en nuestra organización con interés en el diseño de servicio como proponen Keeley, Pikkell, Quinn y Walters (2013).

III.3 Herramientas técnicas

- Tabla de análisis taxonómico y ergonómico
- Entrevistas no estructurada
- Cuestionario
- Observación efectuada en la vida real
- Tabla de 10 tipos de innovación
- Esquema de flujo del servicio protésico privado

III.4 Población o universo de estudio

La muestra tipo fue seleccionada con participantes voluntarios dentro y fuera del caso tipo seleccionado. No se empleó una muestra muy extensa ya que como lo mencionan Hernández, Fernández y Baptista (2010) “En los estudios cualitativos el tamaño de muestra no es importante desde una perspectiva probabilística, pues el interés del investigador no es generalizar los resultados de su estudio a una población más amplia. Lo que se busca en la indagación cualitativa es profundidad. Nos conciernen casos que nos ayuden a entender el fenómeno de estudio y a responder a las preguntas de investigación” (pág. 394) Además, la investigación se vio limitada por recursos y capacidad operativa dadas las características de la misma.

III.4.1 Caso tipo

Rango de edad de 20 a 45 años, ambos sexos, sujeto con amputación traumática que radica en la Ciudad de México y área metropolitana, nivel socioeconómico bajo.

III.4.2 Numero de sujetos estudiados

Para la inmersión inicial se estudiaron 8 casos voluntarios variados. Para el final del experimento se trabajó con un voluntario dentro del caso tipo y un caso secundario fuera del caso tipo.

III.5 Lugar en que se desarrolló el trabajo de investigación

- Laboratorio de ergonomía de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, CDMX.
- Taller de fabricación digital del estudio de innovación y diseño Huella Cero Tepepan Xochimilco, CDMX.
- Seminarios de diseño en posgrado CyAD.

III.6 Recursos materiales

III.6.1 Equipo, maquinaria y herramienta:

- Equipo especializado para medición antropométrica
- Impresora 3D tipo FDM modelo Replicator 2 marca Makerbot
- Impresora 3D tipo FDM modelo Kossel mini marca genérica
- Licencia de software Rhinoceros 5 para modelado 3D con plug-in Grasshopper para Windows
- Licencia free Software Autodesk Meshmixer para windows
- Escáner tridimensional Kinect v1 y v2 para Xbox 360 y One respectivamente
- Software Kinect for windows SDK 1.0 Y 2.0 para windows
- Máquina de CO2 50W para corte laser área de trabajo de 250*420 mm
- Computadora de escritorio, procesador AMD A8. HD Graphics 3.60 GHz RAM 12 GB. Tres pantallas. Windows 10 Pro. Puerto USB 3.0
- HP notebook procesador AMD QUAD-CORE A8-7410 APU, RAM 12 GB DDR3L
- Remachadora para tela y cueros con cabezal para remache de 2 mm y broche
- Pinza sacabocado estrella uso rudo medidas de cabezal de 2 a 4.5 mm
- Juego de 6 limas para joyero marca TRUPER

III.6.2 Insumos y consumibles:

- Filamento flexible TPE de 1.75 marca COLIDO
- Filamento PLA de 1.75 genérico
- Policaprolactona (PCL) en presentación de pellets.
- Cordón de Nylon de 0.5 mm
- Cinta elástica de 50 mm de ancho color negro.
- Remaches de aluminio para tela de 2 mm
- Tornillería
- Lijas
- Paquete de hojas de papel

III.6.3 Recursos Humanos:

Asesores en impresión 3D y modelado tridimensional paramétrico

LDI Arturo Zamora y Arq. Lizette Correro Flamand

Asesor en atención de personas con discapacidad y ergonomía

Mtra. María Francesca Sasso Yada.

Asesor en creación de sistema Producto-Servicio y director de proyecto

Mtro. Sergio Dávila Urrutia

Asesor protesista

Ing. Delfino Hernández Ramírez

III.6.4 Recursos materiales para recolectar datos:

- iPad mini 2
- Cámara fotográfica marca Canon.
- Cámara celular Motorola g4 plus

Capítulo IV. Análisis del servicio protésico mexicano

En este capítulo se engloba y analiza la información obtenido a lo largo de la investigación sobre el servicio de fabricación de prótesis. A continuación se identifican y delimitan las etapas del servicio y la experiencia del usuario durante el proceso.

IV.1 Análisis de proceso para fabricación de prótesis

El Diagrama I resume el proceso empleado en México para la fabricación de prótesis. La información para elaborar el siguiente esquema se obtuvo a partir de entrevistas con protesistas Mexicanos, usuarios del servicio y la observación del proceso mismo.

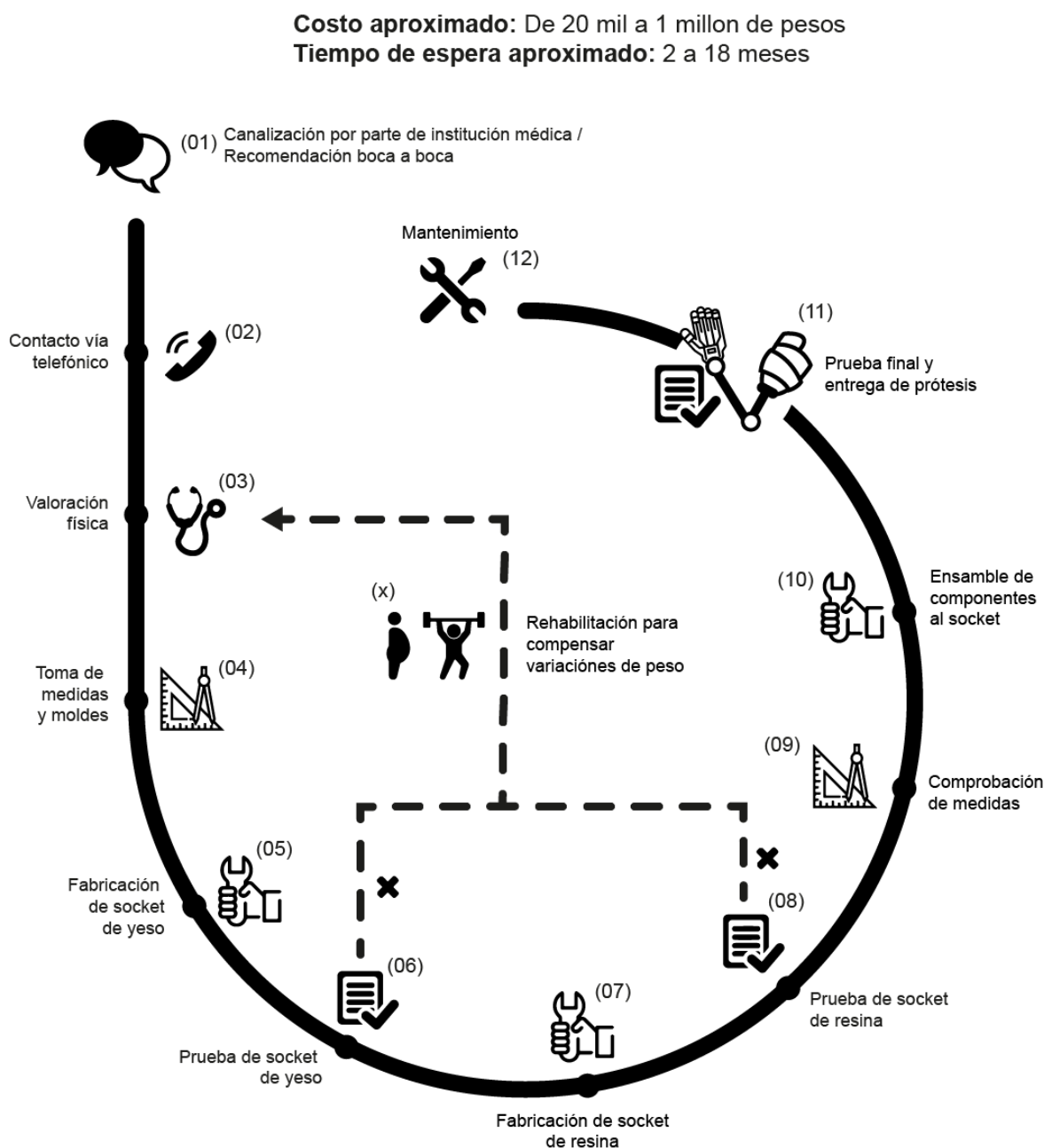


Diagrama I. Proceso para fabricación de prótesis mexicano (2017) Autor: Jesús Eugenio Ricardez Sánchez.

01) Canalización por parte de institución médica / Recomendación boca a boca:

- Forma en que el usuario se entera del servicio. Normalmente la institución médica canaliza a sus pacientes con el taller protésico correspondiente, ya sea parte de la misma institución o privado. Por otro lado, la recomendación de conocidos y familiares es otra de las principales formas publicitarias del servicio.

02) Contacto vía telefónico:

- Medio para que el usuario contacte con el servicio.

03) Valoración física:

- El protesista analiza la salud del paciente en busca de posibles afecciones que imposibiliten el uso de prótesis, tal es el caso de diabetes o infecciones, de la misma forma se explora la morfología del muñón en busca de heridas abiertas, inflamación o tejido cicatrizado.

04) Toma de medidas y moldes:

- Proceso durante el cual el protesista saca contramoldes de yeso del muñón del usuario y toma medidas de referencia de la extremidad en cuestión.

05) Fabricación de socket de yeso:

- A partir del contramolde se elabora un socket de yeso provisional para el muñón, este servirá para asegurar que se adapte apropiadamente y evitar gastos innecesarios de tiempo y dinero.

06) Prueba de socket de yeso:

- Se verifica que el socket encaje adecuadamente en el muñón y se corrige cualquier incomodidad que el usuario señale sentir, de ser necesario se elaboran nuevos contramoldes del muñón y se repite el proceso.

07) Fabricación de socket de resina:

- Se utiliza el socket previamente elaborado en yeso, se procede a la elaboración del socket en resina de poliéster. Mismo que es usado en el armado final de la prótesis.

08) Prueba de socket de resina:

- Última prueba para asegurar el correcto acoplamiento del socket en el muñón. En caso de que no entre el socket por exceso de dimensiones en el muñón, se procede al punto (x).

09) Comprobación de medidas:

- Comprobación de las dimensiones antropométricas del cuerpo para asegurar la función ergonómica y la simetría visual de los componentes.

10) Ensamble de componentes al socket:

- Fijación de todos los componentes de la prótesis al socket de resina.

11) Prueba final y entrega de prótesis:

- Observación del usuario manipulando la prótesis en busca de posibles fallos o ajustes necesarios, de no encontrar ninguno se le hace entrega del dispositivo.

12) Mantenimiento:

- Seguimiento recurrente que se le hace a la prótesis y al usuario, se ajustan y cambian componentes para mantenerla en estado óptimo.

x) Rehabilitación para compensar variaciones de peso:

- Bajo circunstancias en las que el usuario experimente variaciones en la morfología de su muñón, ya sea por aumento o pérdida de peso o masa muscular, se le somete a rehabilitación para recuperar la forma anterior o en el peor escenario, se vuelve al inicio para rehacer contramoldes.

IV.1.1 Proceso para fabricación de prótesis no regulado

Dado que en México no existe una normativa que regule el proceso, este no siempre se lleva a cabo de manera apropiada y se incurren en mala praxis por parte de los protesistas que persiguen intereses económicos. El diagrama anterior presenta el escenario idóneo del proceso, a continuación se presenta en el Diagrama II un escenario de mala praxis por parte de protesistas mal intencionados, escenario que desafortunadamente es frecuente observar en campo. El caso se presentó en un taller protésico privado subcontratado por el IMSS según testimonio disponible en anexo B y D.

En dicho caso es observable la omisión de los filtros en el proceso destinados a asegurar la correcta fijación antropométrica y ergonómica del socket con el muñón y la simetría del miembro. El protesista no hizo entrevista previa con el usuario para analizar su condición, y en total la interacción del usuario con el protesista durante todo el proceso fue nula, en una única cita se le tomaron los moldes y no se volvieron a reunir hasta diez meses después cuando recibió la prótesis sin posibilidad de corregir detalles ergonómicos en el socket. Además, se le indica que la prótesis no requiere mantenimiento hasta que esta deje de funcionar en su totalidad. La incertidumbre e impotencia que el usuario experimentó durante todo el proceso termina mermando su disposición para repetir la experiencia.

Costo aproximado: Costo cubierto por el seguro
Tiempo de espera: 10 meses

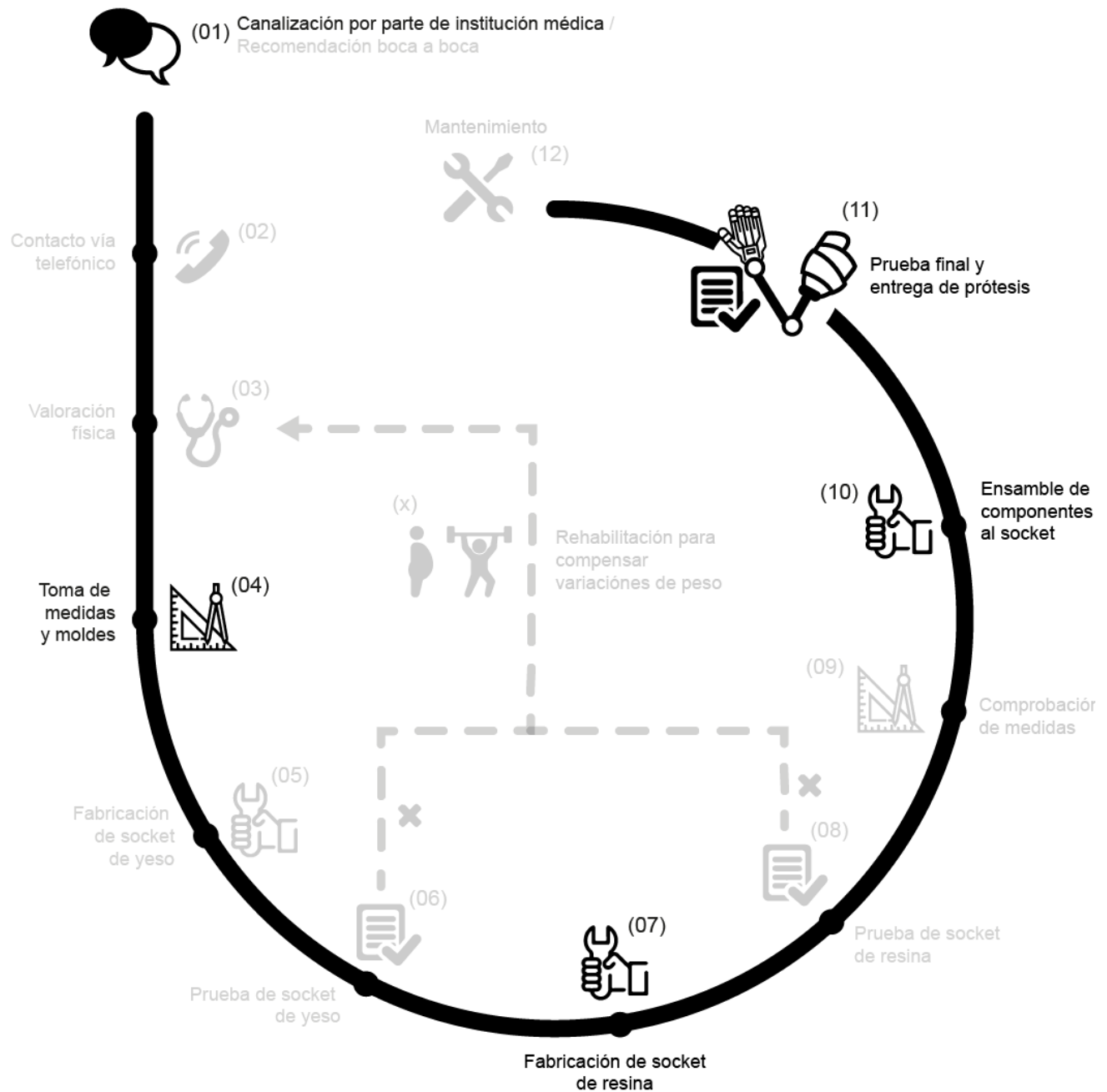


Diagrama II. Proceso para fabricación de prótesis mexicano no regulado (2017) Autor: Jesús Eugenio Ricardez Sánchez.

IV.1.2 Análisis de experiencia de usuario en el servicio

Continuando con el caso anteriormente presentado, fue preciso analizar el estado anímico del usuario más allá del proceso de fabricación de prótesis, es decir, incluir los procesos que tuvo que experimentar desde el momento en que sufre su accidente traumático hasta que finalmente se le otorga una prótesis, ¿Por qué experiencia tuvo que atravesar para llegar a este punto y como afecta esta al usuario?

En Diagrama III se presenta el servicio del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) para obtener una prótesis bajo su cobertura, dicho diagrama se elaboró a partir de testimonio disponible en el anexo B y C.

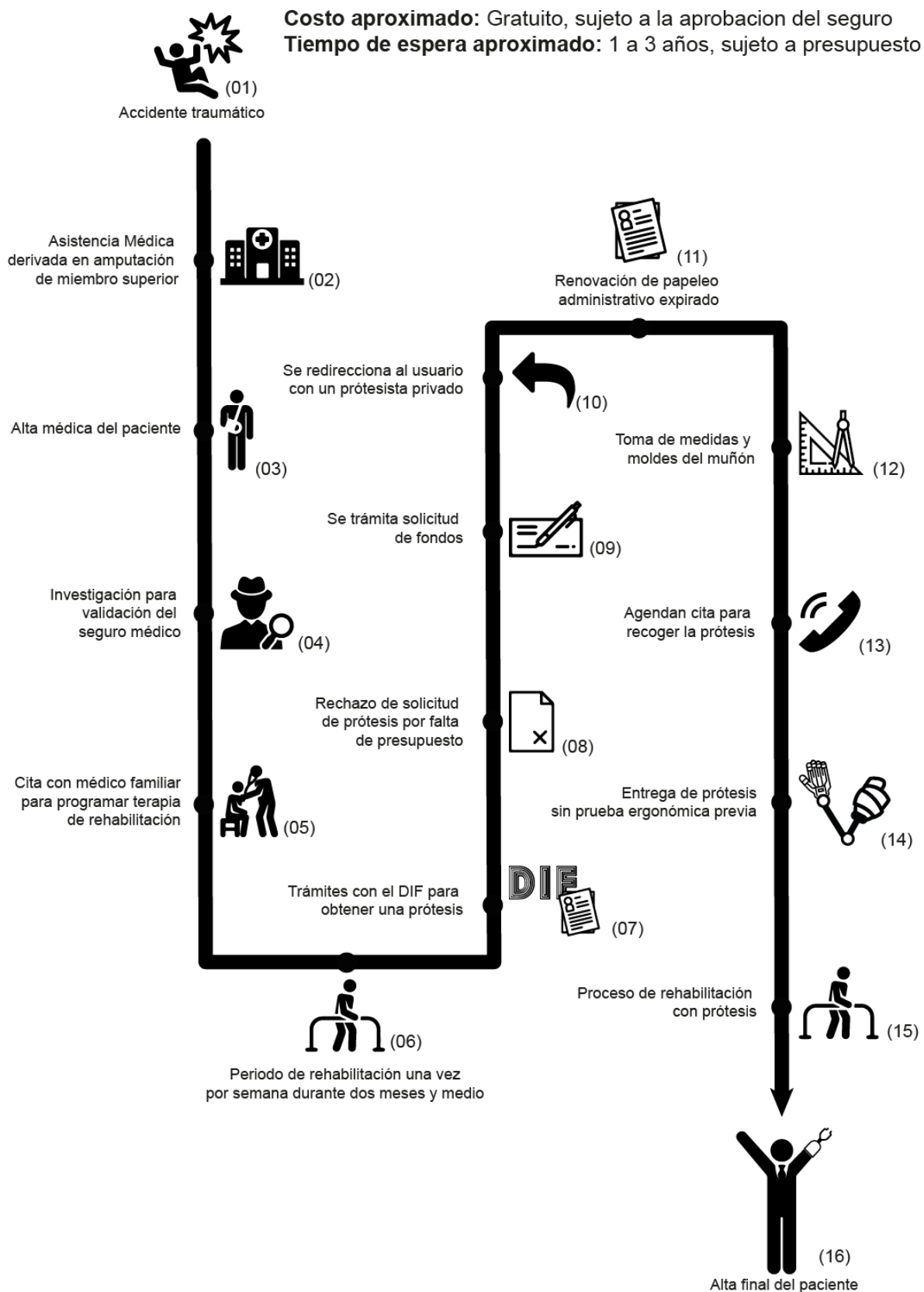


Diagrama III. Experiencia de usuario (2017).

- 1) El usuario sufre accidente traumático cuando operaba maquinaria de la empresa para la que labora.
- 2) Inmediatamente se traslada a un hospital bajo cobertura del seguro social, donde se le controla la hemorragia pero debido a su condición “estable” se le deja en espera hasta la mañana siguiente cuando le informan que no es posible salvar el miembro y se le amputa.
- 3) Finalizado el procedimiento quirúrgico se le concede el alta médica al usuario.
- 4) El usuario acude a entrevista con investigador del seguro médico para determinar responsabilidad del accidente. A pesar de que la empresa pretende deslindarse de culpa por el incidente el investigador determina que fue un accidente laboral, por lo que el seguro social cubrirá los gastos médicos.
- 5) Se acude a cita con médico familiar para programar terapia de rehabilitación.
- 6) La terapia de rehabilitación se llevó a cabo una vez por semana durante dos meses, la terapia consistía en una serie de ejercicios para recuperar la sensibilidad y fuerza en el muñón. Al finalizar la terapia se le trato de reincorporar a sus labores sin ofrecerle prótesis alguna, sin embargo, debido a lo reciente del trauma el usuario decidió utilizar su derecho vacacional para continuar adaptándose a su nueva condición.
- 7) Durante este periodo vacacional el usuario presiona al DIF para que le proporcionen la prótesis que por derecho le corresponde. Dicho reclamo termina con la autorización escrita para que el usuario sea acreedor a una prótesis.
- 8) Con autorización escrita en mano, el usuario se presenta en las instalaciones encargadas de la fabricación de prótesis donde se les informa que debido a la falta de presupuesto no les es posible atenderlos y se les pide volver a intentarlo dentro de unos meses.
- 9) Debido a la falta de presupuesto, por segunda ocasión es rechazada la solicitud del usuario para obtener una prótesis. Y a consejo de los administrativos del taller, se acude a las oficinas presupuestales del IMSS para buscar una solución.
- 10) Se le informa al usuario que si existe presupuesto pero que el personal del taller tiene sobrecarga de trabajo, así que es redirigido con un protesista privado subcontratado por el IMSS.
- 11) Hasta este punto, el proceso se ha demorado tanto que la solicitud de prótesis que tenían aprobado ha expirado, por lo que es necesario volver a hacer la solicitud.

- 12) El usuario se presenta en el taller protésico subcontratado por el IMSS con sus papeles renovados, pese a esto, fue necesario presentarse un par de veces más para poder ser atendidos y se le tomaran los moldes y medidas.
- 13) Después de varios meses sin noticias y a causa de la presión que hizo el usuario al IMSS, reciben una llamada en la que concierta cita para recoger la prótesis.
- 14) Pese a tener cita y la dificultad para desplazarse, fueron necesarias 4 visitas más para que el usuario fuera atendido y recibiera la prótesis. Durante la entrega, se le informo al protesista de molestias y dolor causado por el socket, pero este afirmó no poder hacer nada al respecto.
- 15) Nuevamente se lleva terapia de rehabilitación para aprender a utilizar la prótesis, las molestias y dolor que la prótesis ocasiona condicionan su uso a un período no mayor a 3 horas continuas.
- 16) El paciente es dado de alta por completo para re incorporarse al trabajo, más sin embargo, al presentarse a trabajar le informan que ha sido despedido ya que fue pensionado por parte del IMSS. Ahora el usuario cuenta con la mitad de su salario original para mantener una familia de 4 personas con una prótesis que le incapacita más de lo que le beneficia.

IV.1.2.1 Cronograma de experiencia del usuario

A continuación se ubica en temporalidad la experiencia del usuario (Anexo C).

Agosto

- (1) Ocurre accidente
- (2) Acude al hospital
- Amputación de miembro superior
- (3) Alta médica del paciente
- (4) Entrevista e investigación de la empresa para validar el seguro medico
- Calificación del accidente por parte del departamento de “Seguridad en el trabajo” del seguro medico
- (5) Cita médico familiar para programar terapia de rehabilitación de muñón. 10 sesiones, 1 por semana

Septiembre-Octubre

- (6) Periodo de rehabilitación una vez por semana
- Recibe hoja para solicitud de prótesis

Noviembre

- Alta del paciente y orden de reincorporación a labores por parte del seguro social
- Utiliza sus 15 días de vacaciones para poder seguir en recuperación
- (7) Inicia trámites en el DIF para obtener una prótesis
- Se tramita pensión por accidente laboral
- La empresa le niega la reincorporación laboral al final de su periodo vacacional debido a su pensión
- (8) Se asiste a Unidad Cuauhtémoc con solicitud escrita de prótesis donde se rechaza por falta de presupuesto

Diciembre

- Se acude nuevamente a unidad Cuauhtémoc con solicitud escrita de prótesis y nuevamente son rechazados
- Interviene asesor del DIF para acelerar el proceso
- (9) Se acude a edificio de presupuestos para solicitar fondos
- (10) Se redirecciona con servicio protésico privado debido a falta de personal

Febrero

- (11) Se les programa una cita para el mes de Abril, pero es necesario re hacer el papeleo ya que el anterior había expirado

Abril

- (12) Entrega los documentos con protesista externo y se le toman las medidas en la misma cita

Mayo

- (13) Reciben llamado para que acudan a recoger la prótesis
- Fue necesario reprogramar tres veces las citas para que se llevara a cabo la entrega
- (14) A la cuarta cita se les hace entrega de la prótesis sin ninguna prueba ergonómica previa. El protesista se niega a escuchar las molestias del usuario
- (15) Inicia proceso de rehabilitación para adaptación con prótesis. 10 sesiones
- (16) Alta total del paciente

Capítulo V. Propuesta de solución

Capítulo en el cual se plantea una propuesta que responde a la problemática del servicio protésico actual (Véase Diagrama IV). Dicha propuesta busca implementar herramientas tecnológicas enfocadas en revertir las 10 principales experiencias negativas del usuario con el servicio arrojadas por la investigación:

- Complejidad de los trámites para solicitar el servicio
- Lentitud del proceso
- Opiniones y preferencias sin ser tomadas en cuenta
- Incertidumbre y ansiedad por falta de información durante el proceso
- Dificultad para desplazarse
- Costos elevados fuera de su presupuesto
- Mala adaptabilidad y ergonomía del socket
- Baja funcionalidad y practicidad de la prótesis
- Pobre percepción estética
- Falta de seguimiento posterior al servicio

Cabe mencionar, la propuesta fue esbozada bajo el modelo de asociación sin fines de lucro independiente pero de ser necesario es factible adaptarla a servicios de salud pública.

V.1 Esquema propuesto

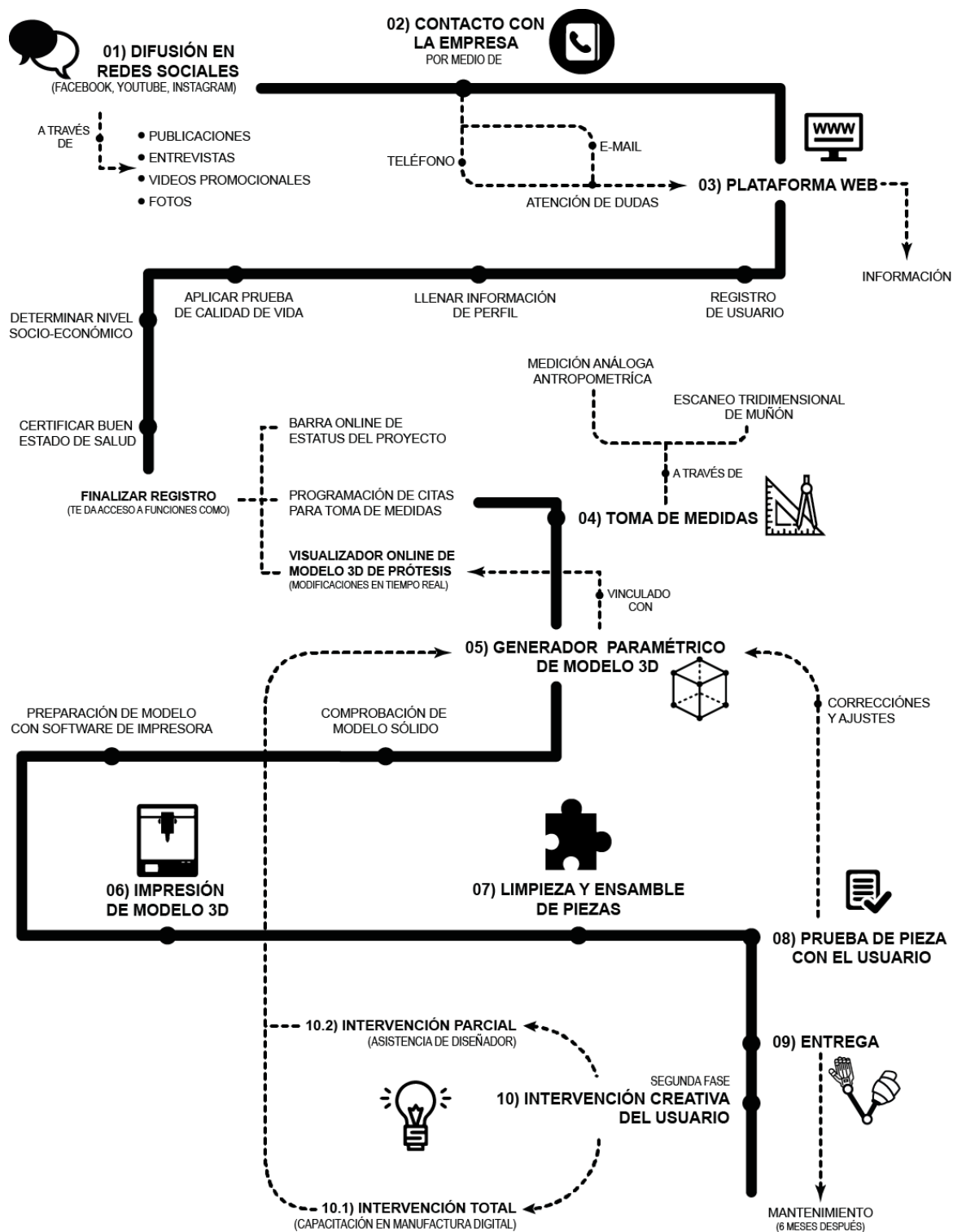


Diagrama IV. Propuesta de servicio (2017) Autor: Jesús Eugenio Ricardez Sánchez.

V.1.1 Difusión

Tabla I. Etapa enfocada a la atracción de clientes y recursos. El internet es actualmente el medio más efectivo para la difusión de la información. Debido a que existe mayor cantidad de personas que usan las redes sociales en comparación con las que leen periódico, observan la televisión, o bien, escuchan el radio. Así mismo, gestionar redes sociales es una estrategia que atrae la atención de los otros medios de comunicación.

No	01	Proceso	Difusión ¿Cómo se enteran de nosotros?
CONFIGURACIÓN	Modelo de ganancia	Venta de espacios publicitarios Atracción de clientes Captación de donativos y patrocinios	
	Redes	Redes sociales como Facebook, Twitter, Instagram, YouTube, etc.	
	Estructura	Community manager	
	Proceso	Captación de clientes, usuarios y donativos	
OFERTA	Rendimiento del producto	Rápida y efectiva atención de dudas las 24 horas de los 7 días de la semana. Mayor alcance más rápidamente. Acceso instantáneo a la información desde cualquier ubicación	
	Sistema del producto	Enlaces directos con la plataforma web, emails y números para contactar con la empresa, todo a un clic de distancia	
EXPERIENCIA	Servicio	Interacción usuario-maquina. Informa al usuario y le facilita información para que pueda realizar acercamiento con la empresa	
	Canales	Buscadores de internet Redes sociales Plataforma web Servicio streaming Servicio de mensajería instantánea Televisión Radio	
	Marca	Creación de imagen corporativa y de marca	
	Vinculación con el usuario	Difusión de contenido audio visual con testimonios e información con la que el usuario pueda empatizar	

Tabla I. Framework de difusión (2017).

V.1.2 Contacto con la empresa

Tabla II. Una vez que el usuario se ha enterado de nosotros, ¿Cómo nos contacta? Esta etapa contempla la centralización de la atención del cliente en una plataforma web. Otros medios de contacto como redes sociales, teléfono o email, se encargaran de dirigir a los usuarios hacia dicha plataforma donde podrán encontrar explicaciones del servicio y requisitos para inscribirse en el proceso desde la comodidad de su hogar u oficina.

No	02	Proceso	Contacto del usuario con la empresa
CONFIGURACIÓN	Modelo de ganancia		Renta de espacios publicitarios
	Redes		Redes sociales Plataforma web Servicio de email
	Estructura		Plataforma web: Automatiza el proceso de registro, pone a disposición del usuario toda la información que necesite y proporciona canales de comunicación directos con la empresa Community manager: Maneja las redes sociales y atiende los mensajes vía email dirigiendo a los potenciales cliente hacia la plataforma web
	Proceso		Resolver dudas y eventualidades del usuario y guiarlo hacia el inicio del proceso en la plataforma web
OFERTA	Rendimiento del producto		Proceso estructurado de rápida respuesta Automatización de la atención de dudas Seguimiento en redes sociales Creación de foros de discusión en redes sociales Actualizaciones constantes del servicio Contacto directo con la empresa, sin intermediarios
	Sistema del producto		Redirección de los usuarios hacia un medio único de contacto centralizado en la plataforma web
EXPERIENCIA	Servicio		Interacción usuario-humano. Servicio de orientación personalizado e inmediato, evita periodos de espera prolongados al usuario y los redirige hacia una central de información
	Canales		Redes sociales, email, plataforma web
	Marca		Creación de imagen corporativa y de marca empleada en la plataforma web
	Vinculación con el usuario		Acceso del usuario a la plataforma web, con actualizaciones constantes de información y muestras de los avances más relevantes

Tabla II. Framework de contacto con la empresa (2017).

V.1.3 Plataforma web

Tabla III. Unidad central del proceso: Es la etapa en que todas las demás convergen y se interrelacionan. Toma la forma de una página web en que la que los usuarios pueden ingresar e informarse del proceso, realizar donaciones o decidir participar como voluntarios. Permite la creación de cuentas de usuario en las que se recopila información de interés para el proceso, el usuario puede también administrar su participación en el proceso.

No	03	Proceso	Plataforma web
CONFIGURACIÓN	Modelo de ganancia	Ahorro de tiempo y recursos mediante la centralización del proceso Venta de espacios publicitarios Atracción de patrocinios Difusión del trabajo realizado para captación de clientes	
	Redes	Institutos de rehabilitación y hospitales públicos o privados Consultorios protésicos Gobierno de la republica Asociación de protesistas Asociaciones civiles	
	Estructura	Plataforma web como unidad centralizada. Toda la información y archivos de los usuarios se almacenan en un servidor.	
	Proceso	Gestión del proceso y orientación de usuarios.	
OFERTA	Rendimiento del producto	Línea de comunicación entre el usuario y la empresa Coordina al usuario con la empresa gestionando citas, tiempos y etapas en el proceso Fuente de información consultable a distancia Otorga control al usuario total de sus archivos personales Previene desplazamientos innecesarios Crea un espacio de dialogo entre usuarios	
	Sistema del producto	Página web integrada por inicio, registro, perfil y foro de la comunidad	
EXPERIENCIA	Servicio	Interacción usuario-maquina. Permite la creación de cuentas de usuario en las que se recopila información de interés así como al usuario administrar el grado de participación en el proceso	
	Canales	Vía internet	
	Marca	Transmisión de imagen corporativa	
	Vinculación con el usuario	Interacción moderna del usuario en el proceso a través del uso de internet	

Tabla III. Framework de plataforma web (2017).

V.1.3.1 Diseño de marca

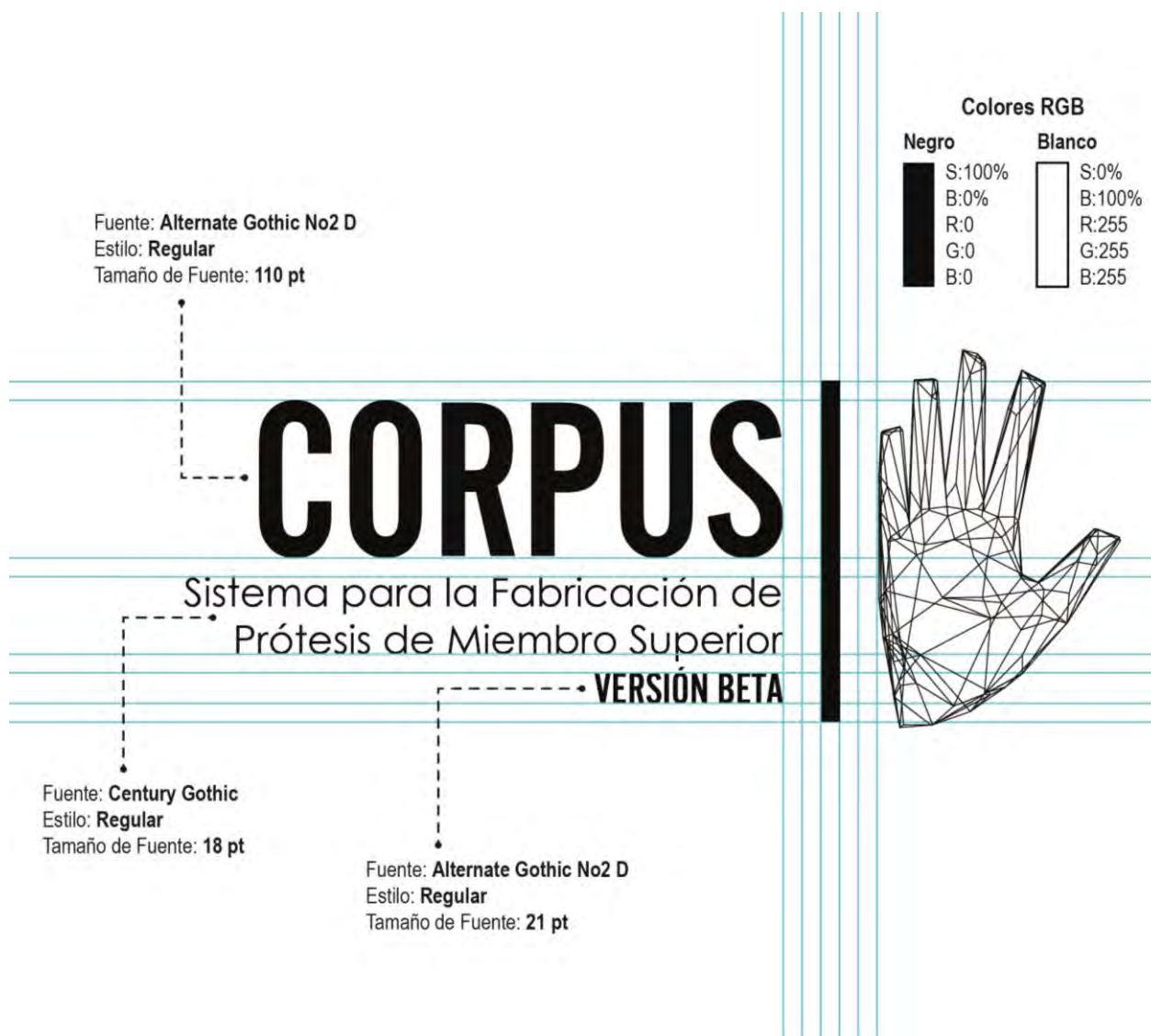


Diagrama V. Imagen corporativa en positivo (2017).

Efecto de Estilizado / Resplandor Exterior

Modo: Trama

Opacidad: 50%

Desenfocar: 5 mm

CORPUS

Sistema para la Fabricación de
Prótesis de Miembro Superior
VERSIÓN BETA



Colores RGB

Negro

S:100%
B:0%
R:0
G:0
B:0

Blanco

S:0%
B:100%
R:255
G:255
B:255

Diagrama VI. Imagen corporativa en negativo (2017).

V.1.3.2 Estructura de página web



Diagrama VII. Estructura de página web (2017).

V.1.3.2.1 Inicio (1)

Página principal de la plataforma, es la página a la que entra el usuario cuando coloca la dirección del sitio “www.proyectocorpus.com”. Introducción gráfica de la empresa, del trabajo realizado, casos de éxito y procesos utilizados (Vease Ilustración IX).

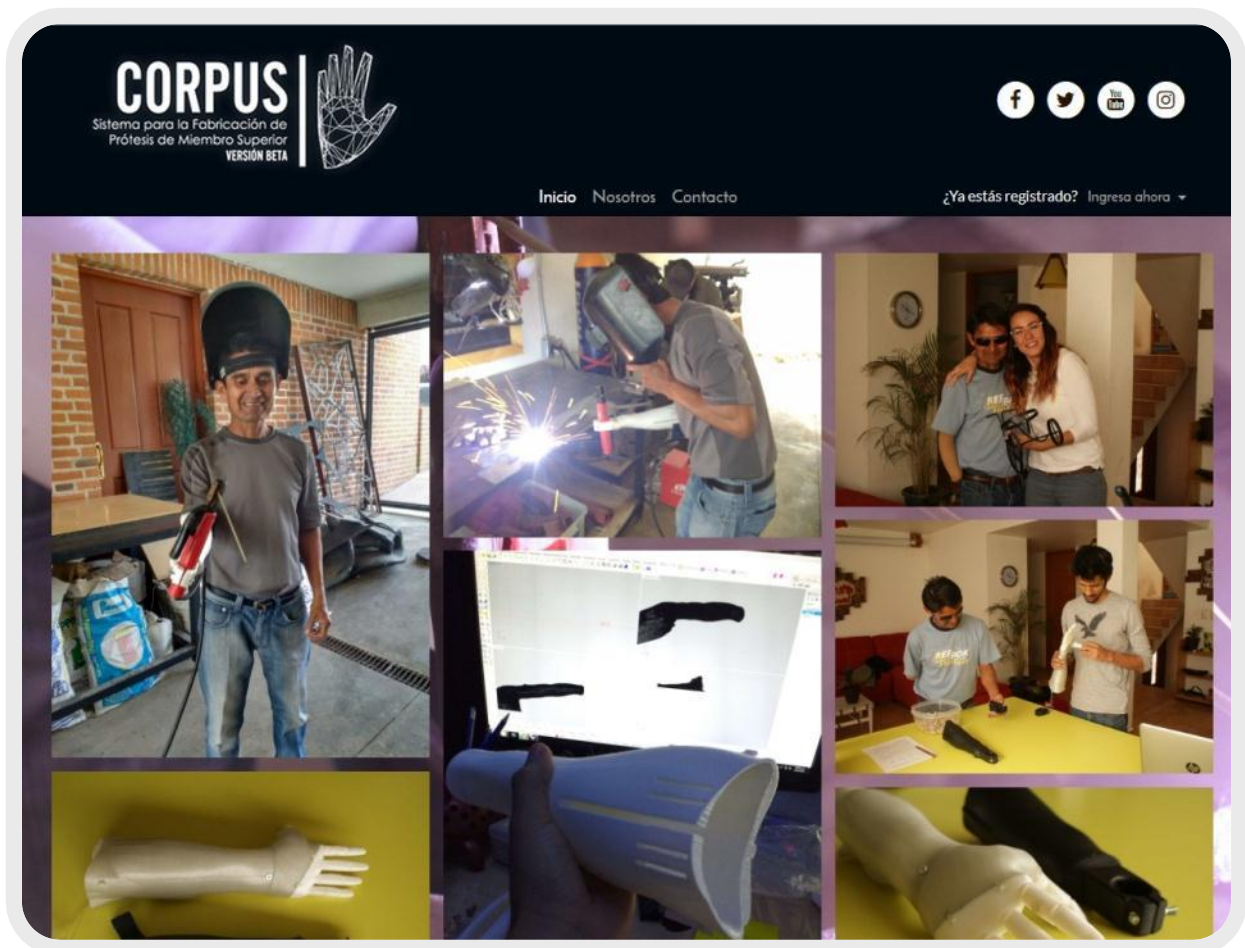


Ilustración IX. Captura de “Inicio” en plataforma web (2017).

V.1.3.2.2 Nosotros (2)

Presentación de la empresa y de la plataforma web donde se explica a qué se dedica la compañía, su trayectoria y el proceso (Véase Ilustración X).



Ilustración X. Captura de "Nosotros" en plataforma web (2017).

Contenido:

¿Qué es CORPUS?

CORPUS es una iniciativa creada por Huella Cero, estudio de innovación y diseño, en conjunto con la Universidad Autónoma Metropolitana bajo la dirección del DI Jesús Eugenio Ricardez Sánchez, con el objetivo de crear soluciones protésicas a problemas cotidianos de personas que viven con discapacidad en miembro superior. En CORPUS creemos en el uso de la tecnología para el bienestar humano, razón por la que empleamos procesos de manufactura digital, como el escaneo e impresión 3D, en el diseño y fabricación de prótesis.

Por lo tanto, en consciencia de lo físico, emocional y financieramente desafiante que puede ser vivir con discapacidad, CORPUS fue pensado como un sistema en el que al final no sólo se obtiene una prótesis, si no que adquieran conocimientos para involucrarse más profundamente en el proceso de diseño y eventualmente, realizarlo por cuenta propia.

Regálale un pez a un hombre y comerá un día. Enséñale a pescar y comerá toda la vida. (Proverbio)

¿En qué Consiste CORPUS?

CORPUS es un sistema en el que interactúan diferentes procesos técnico - tecnológicos constituidos en dos fases; la primera, llamada fase de sondeo, que se enfoca en dar al usuario una experiencia controlada guiada en todo momento de forma que en la segunda fase conocida como intervención creativa, cuente con conocimientos previos del proceso y sea capaz de aplicar esa experiencia en el diseño de su propia prótesis.

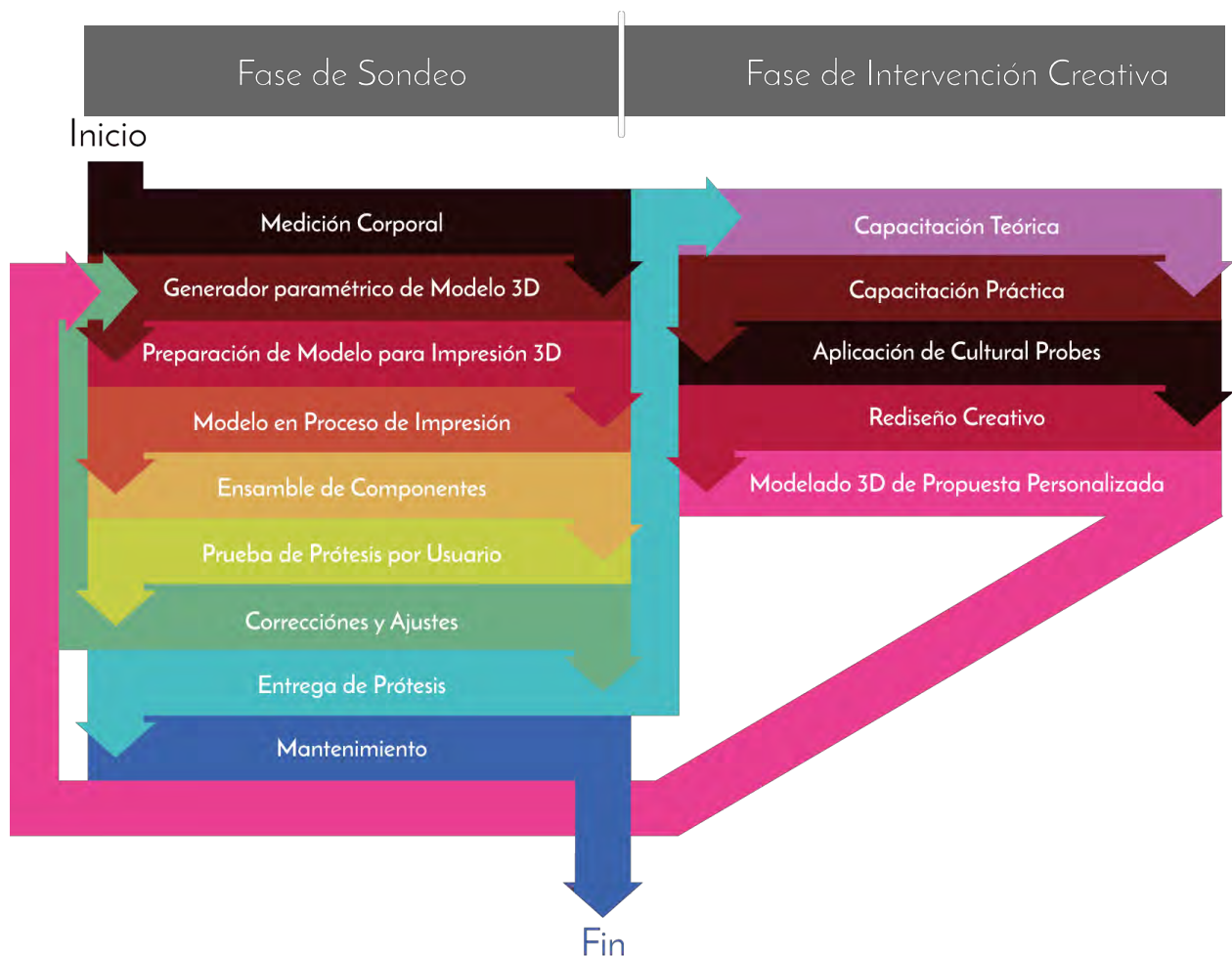


Ilustración XI. Esquema de proceso contenido en plataforma web (2017).

Habilidades y Conocimientos Necesarios

CORPUS fue diseñado como un sistema que se adapta a diferentes perfiles de usuario; por lo que no es requisito contar con algún tipo en particular de conocimiento o habilidad. Puedes decidir el nivel de participación que desees desde mínima, reducida a narrar tus necesidades a nuestros expertos para realizar tu idea, hasta una intervención total, donde se te capacita para alcanzar autosuficiencia en el diseño de tu prótesis y colaborar con otros miembros de la comunidad. El nivel de intervención elegido puede afectar los costos por el servicio, pero siempre encontraremos formas de adaptarnos a tus posibilidades.

¿Te Interesa? Regístrate para Comenzar...

V.1.3.2.3 Contacto (3)

Información de contacto. Medios para que el usuario se comuniqué con la empresa (Véase Ilustración XII).



Ilustración XII. Captura de "Contacto" en plataforma web (2017).

V.1.3.2.4 Registro / Ingreso (4)

Entrada de la plataforma web. Primer paso del usuario en el servicio. Para poder ingresar en la plataforma por primera vez es necesario realizar un proceso de registro, compuesto por: formulario de inscripción, prueba de calidad de vida y cuestionario de nivel socioeconómico (Véase Ilustración XIII).

V.1.3.2.4.1 Formulario de inscripción:

Serie de preguntas acerca del usuario, su objetivo es crear un perfil con sus datos personales e historia clínica (Véase Ilustración XIV).



Ilustración XIII. Captura de ingreso a "Registro" en plataforma web (2017).

Contenido:

- *Nombre Completo*
- *Email*
- *Contraseña*
- *Confirmar Contraseña*
- *Dirección*
- *Delegación/Municipio*
- *Estado*
- *Código Postal*
- *Teléfono*
- *Teléfono Alternativo*
- *Fecha de nacimiento*
- *Género*
 - *Masculino*
 - *Femenino*



Ilustración XIV. Captura de proceso de registro en plataforma web (2017).

- *Estado civil*
 - *Soltero(a)*
 - *Casado(a)*
 - *Viudo(a)*
 - *Divorciado(a)*
 - *En Unión Libre*
- *Hijos*
 - *Si*
 - *No*
- *Actividad principal*
 - *Trabajo*
 - *Ocio*
 - *Viajes*
 - *Deporte*
 - *Labores del hogar*
 - *Otra*
- *Situación económica*
 - *Dependiente económico*
 - *Independiente económico*
 - *Proveedor familiar*
- *Origen de la discapacidad*
 - *Genético*
 - *Prenatal*
 - *Enfermedad*
 - *Trauma*
- *Ubicación de la discapacidad*
 - *Dedos*
 - *Palma*
 - *Muñeca*
 - *Antebrazo*
 - *Codo*
 - *Brazo*
 - *Hombro*
- *Años viviendo con esta discapacidad*
- *Actualmente, ¿Recibe asistencia médica relacionada a su discapacidad?*
 - *Si*

- ¿De qué tipo?
 - *Psicológica*
 - *Rehabilitación física*
 - *Medicación*
 - *Control de peso*
 - *Otra*
 - *No*
 - *Anteriormente, ¿Recibió asistencia médica relacionada a su discapacidad?*
 - *Si*
 - ¿De qué tipo?
 - *Psicológica*
 - *Rehabilitación física*
 - *Medicación*
 - *Control de peso*
 - *Otra*
 - *No*
 - *¿Hace cuántos años fue su última revisión médica?*
 - *¿Realiza algún tipo de rutina de rehabilitación?*
 - *Si*
 - *No*
 - *¿Padece algún dolor relacionado con su discapacidad?*
 - *Si*
 - *No*
 - *Su muñón presenta anormalidades como:*
 - *Llagas, úlceras o escaras*
 - *Protuberancias*
 - *Sangrado*
 - *Coloración*
 - *Inflamación*
 - *Lesiones*
 - *Ninguna*
 - *¿Padece alguna alergia?*
 - *Si*
 - *Indique a que es alérgico*
 - *No*

- *¿Ha utilizado o utiliza prótesis?*
 - *Si*
 - *¿De qué tipo?*
 - *¿por qué medio la ha obtenido?*
 - *¿Se sintió satisfecho con la experiencia?*
 - *Explique el porqué*
 - *No*
- *¿Siente que necesita de una prótesis para realizar su día a día?*
 - *Si*
 - *No*
- *¿Por qué razón busca adquirir una prótesis?*
- *Tarea cotidiana que más se le dificulta*
 - *Aseo personal*
 - *Vestirse/desvestirse*
 - *Cocinar*
 - *Comer*
 - *Labores domésticas*
 - *Otra*
- *¿Cómo se enteró de nosotros?*
 - *Buscador web*
 - *Redes sociales*
 - *Reportaje web*
 - *Página web*
 - *Radio*
 - *Televisión*
 - *Recomendación*
 - *Otro*
- *¿Qué le motivó a participar en la iniciativa CORPUS?*
- *Aceptar términos y condiciones*

V.1.3.2.4.2 Prueba de Calidad de Vida:

WHOQOL-BREF (World Health Organization Quality of Life Questionnaire, 1993). Desarrollado de manera transcultural centrándose en la calidad de vida percibida por la persona. Proporciona un perfil de calidad de vida, dando una puntuación global de calidad de vida, de las áreas y de las facetas que lo componen. Fue diseñado para ser usado tanto en la población general como en pacientes.

Existen validadas al español las dos versiones del WHOQOL: el WHOQOL – 100 y el WHOQOL- BREF. El WHOQOL-100 está compuesto por 100 preguntas o ítems que evalúan la calidad de vida global y la salud general.

El WHOQOL- BREF contiene un total de 26 preguntas, una pregunta de cada una de las 24 facetas contenidas en el WHOQOL-100 y dos preguntas globales: calidad de vida global y salud general. Cada ítem tiene 5 opciones de respuesta ordinales tipo Likert y todos ellos producen un perfil de cuatro áreas: salud física, psicológica, relaciones sociales y ambiente. El tiempo de referencia que contempla el WHOQOL es de dos semanas. Contenido disponible en anexos. (World Health Organization, 2017) (Véase Ilustración XV).

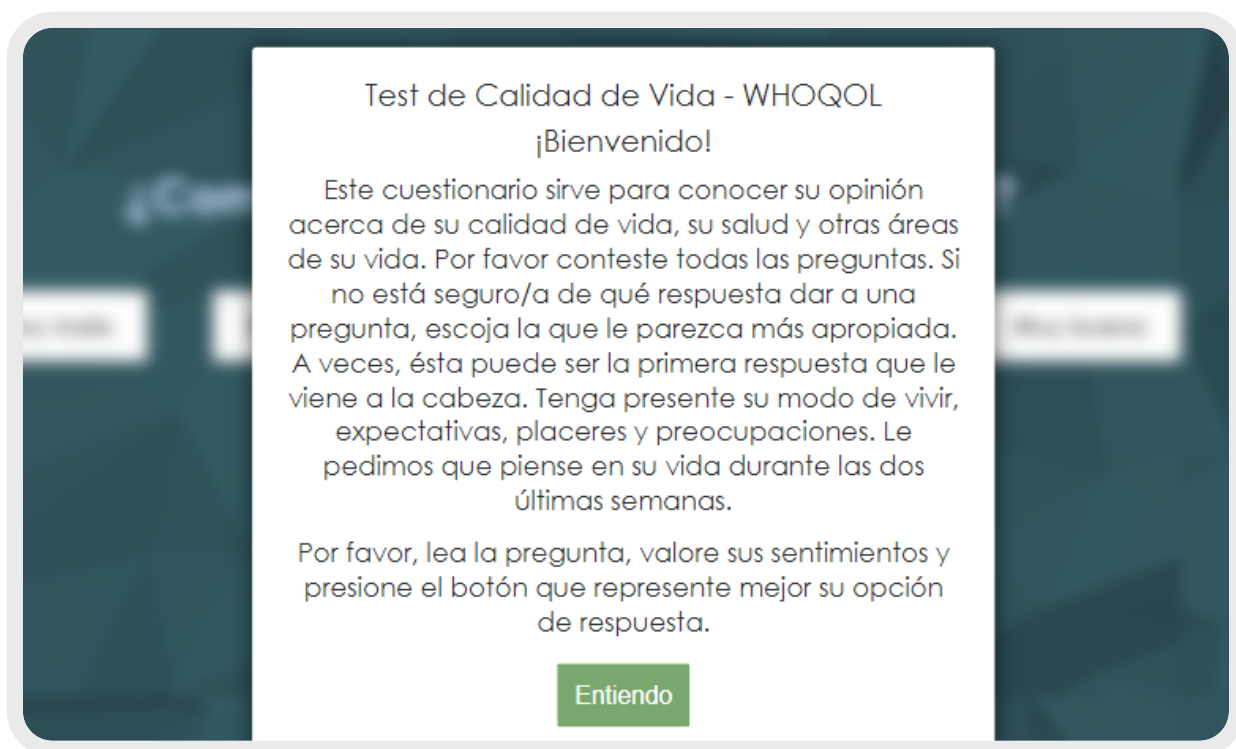


Ilustración XV. Captura de test WHOQOL en plataforma web (2017).

V.1.3.2.4.3 Cuestionario de Nivel Socioeconómico:

Índice de Nivel Socioeconómico de la AMAI es una herramienta de segmentación y clasificación creada por la Asociación Mexicana de Inteligencia de Mercado y Opinión (AMAI), el índice de Niveles Socio Económicos (NSE) es la norma, basada en análisis estadístico, que permite agrupar y clasificar a los hogares mexicanos en siete niveles, de acuerdo a su capacidad para satisfacer las necesidades de sus integrantes en términos de: vivienda, salud, energía, tecnología, prevención y desarrollo intelectual. La satisfacción de estas dimensiones determina su calidad de vida y bienestar. (Asociación Mexicana de Inteligencia de Mercado y Opinión, 2017) (Véase Ilustración XVI).

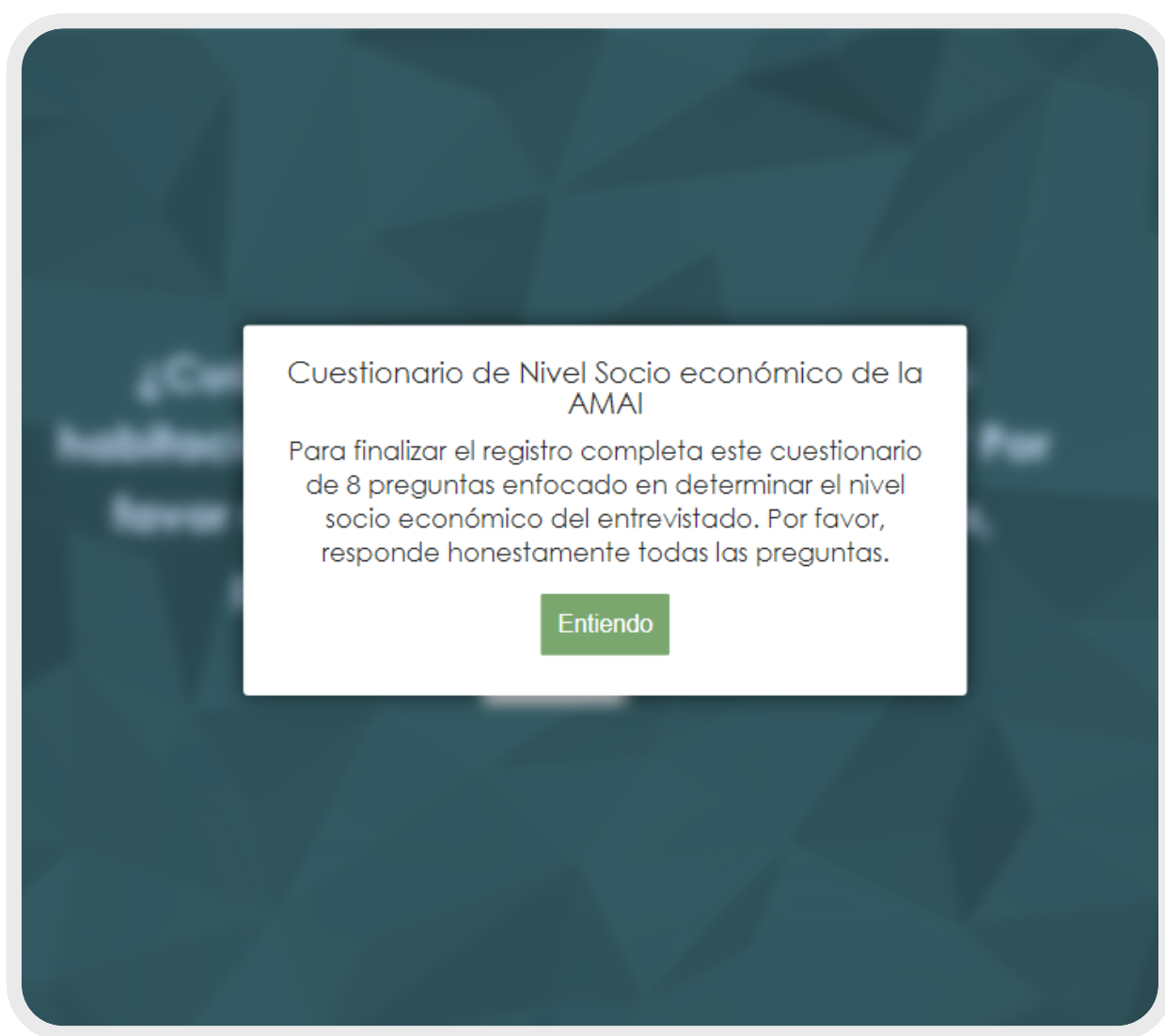


Ilustración XVI. Captura de test de NSE en plataforma web (2017).

V.1.3.2.5 Perfil de Usuario (4.1)

El proceso de registro finaliza con la creación de una cuenta en la plataforma web, con la información obtenida durante el proceso se crea un perfil de usuario al que se puede acceder y modificar por el mismo usuario. Así mismo, conocer el perfil del usuario ayuda a determinar que tanto se involucrara participando en el sistema y prevenir errores en el tratamiento (Véase Ilustración XVII).



Ilustración XVII. Captura de "Perfil de Usuario" en plataforma web (2017).

V.1.3.2.6 Estado (4.2)

Área dedicada a crear vínculos entre el usuario y el servicio. Lo mantiene informado respecto a lo que ocurre durante el proceso para reducir los momentos de ansiedad e incertidumbre (Véase Ilustración XVIII).

V.1.3.2.6.1 (4.2.1) Barra de estado

Proyección grafica en la que se representan de manera secuencial los pasos y el progreso en el proceso. Orienta al usuario dentro del servicio y le informa cuando es momento de agendar una cita o pasar a recoger el producto (Véase Diagrama VIII).

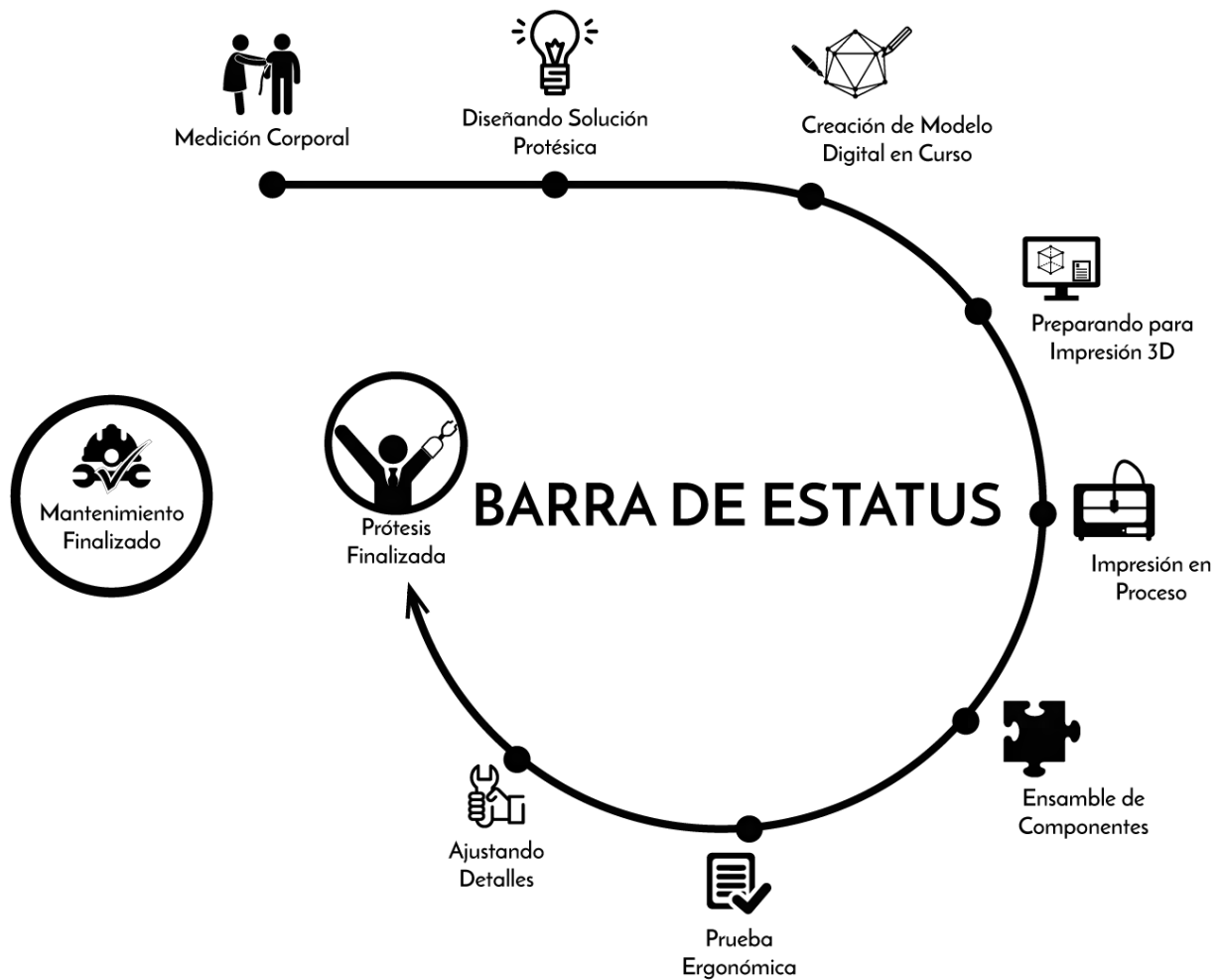


Diagrama VIII. Diagrama de estado en proceso (2017).



Ilustración XVIII. Captura de "Diagrama de estatus" en plataforma web (2017).

V.1.3.2.6.2 Visualizador 3D (4.2.2)

Concede la posibilidad de observar en tres dimensiones los cambios en el modelo destinado a impresión 3D. Se parte del modelo tridimensional del muñón obtenido durante la medición corporal, se visualiza el cambio progresivo hasta llegar al producto final; la prótesis. De igual modo, posibilita al usuario descargar los archivos si así lo desea (Véase Ilustración XIX).



Ilustración XIX. Captura de "Visualizador 3D" en plataforma web (2017).

V.1.3.2.7 Tutoriales (4.3)

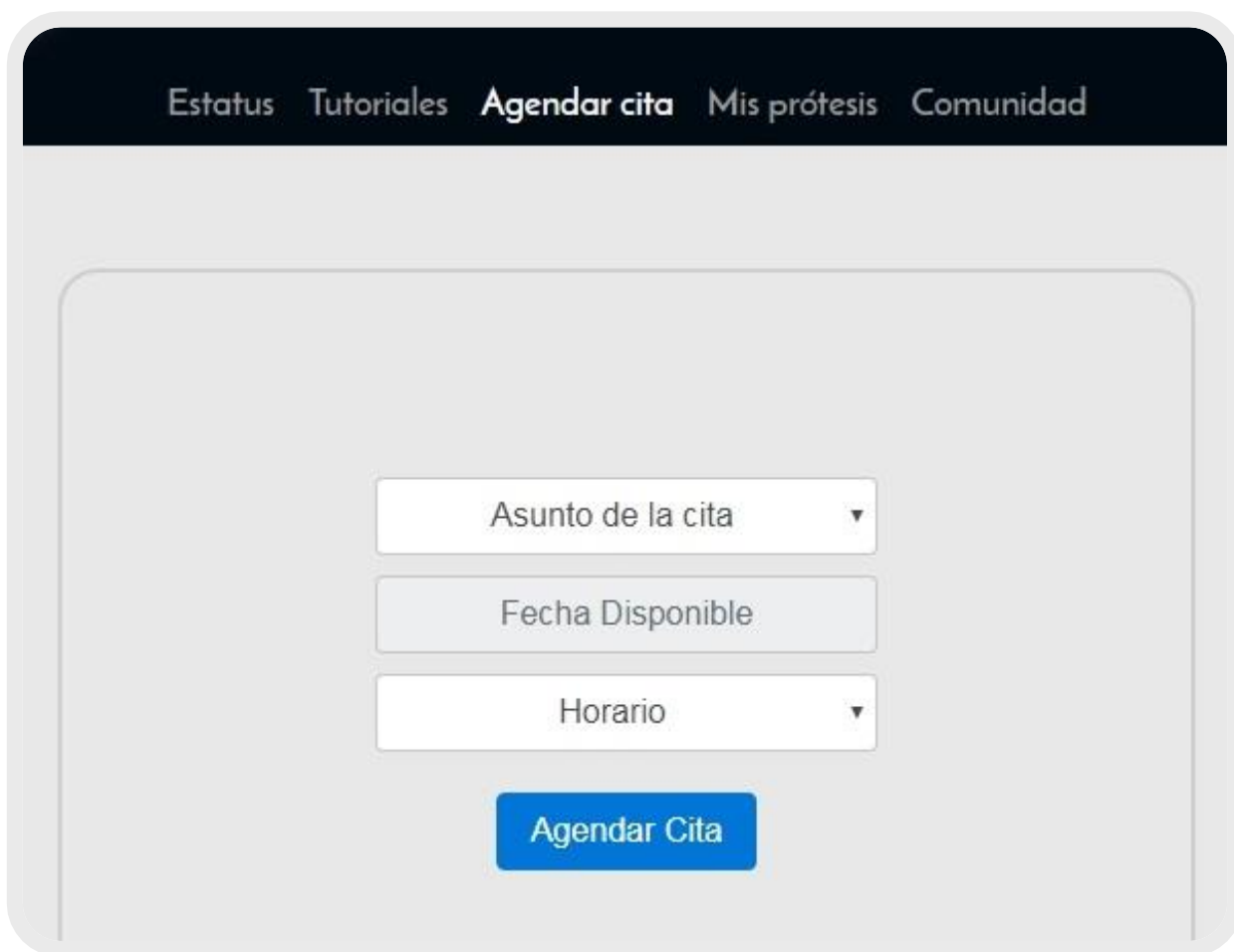
Espacio para aquellos interesados en conocer más profundamente del proyecto. En esta sección se encuentra información acerca de los procesos de manufactura empleados así como respuesta a dudas y conceptos de interés (Véase Ilustración XX).



Ilustración XX. Captura de "Tutoriales" en plataforma web (2017).

V.1.3.2.8 Agendar Cita (4.4)

Herramienta para la gestión de citas con el usuario. Consta de un calendario en que el usuario puede seleccionar una fecha y horario disponible para concretar una cita con la empresa, durante las citas se puede llevar a cabo el proceso de medición corporal, la prueba o entrega del producto (Véase Ilustración XXI).



La interfaz de usuario para agendar una cita presenta una barra de navegación superior con los siguientes elementos:

- Estatus
- Tutoriales
- Agendar cita**
- Mis prótesis
- Comunidad

El formulario principal contiene los siguientes campos:

- Asunto de la cita (menú desplegable)
- Fecha Disponible (campo de texto con calendario oculto)
- Horario (menú desplegable)

Debajo de estos campos se encuentra un botón azul con el texto **Agendar Cita**.

Ilustración XXI. Captura de "Agendado de Cita" en plataforma web (2017).

V.1.3.2.9 Mis Prótesis (4.5)

Biblioteca que almacena los archivos de todas las prótesis generadas para el usuario. Cuando se ha completado el proceso por vez primera esta sección se habilita y muestra todos los archivos empleados en la fabricación del producto. Se actualiza con cada nueva solución protésica diseñada para el usuario permitiéndole descargar y disponer de los modelos para impresión 3D. Con esta opción se propone reducir la dependencia del usuario para con nuestro servicio en caso de requerir reemplazar componentes o dar mantenimiento a sus prótesis (Véase Ilustración XXII).



Ilustración XXII. Captura de "Mis prótesis" en plataforma web (2017).

V.1.3.2.10 Comunidad (4.6)

Foro destinado crear interacción entre los usuarios del proyecto con el objeto de crear una comunidad de apoyo a la persona con discapacidad, atención de dudas y proporcionar un medio de presión y crítica del usuario hacia el servicio (Véase Ilustración XXIII).

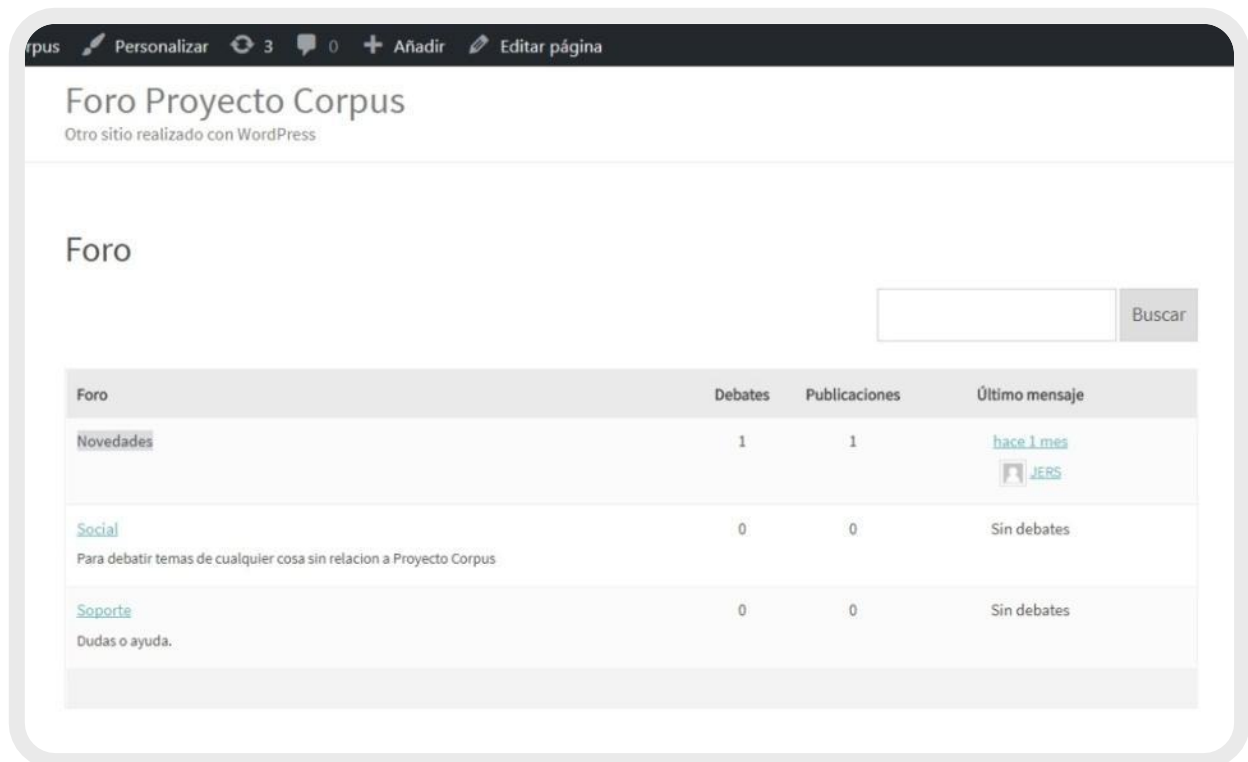


Ilustración XXIII. Captura de "Comunidad" en plataforma web (2017).

V.1.4 Toma de medidas corporales

Tabla IV. Etapa en que la presencia del usuario es indispensable. La cita se coordina a través de la plataforma web y es el momento en que se interactúa personalmente con el usuario por primera vez. La medición corporal se efectúa mediante la utilización de un escáner tridimensional, este dispositivo crea una representación virtual del muñón del usuario. La precisión de dicha representación virtual nos permite adaptar perfectamente el socket al cuerpo del usuario, lo que evita el uso de moldes de yeso, se logra una mejor adaptación del miembro con la prótesis, en la mitad del tiempo y con menores complicaciones.

No	04	Proceso	Toma de medidas corporales
CONFIGURACIÓN	Modelo de ganancia	Patrocinio de marca. Cobro extra por servicio a domicilio	
	Redes	Institutos de rehabilitación Consultorios protésicos Consultorios médicos	
	Estructura	Plataforma web	
	Proceso	Creación de representación virtual del muñón mediante escáner 3D	
OFERTA	Rendimiento del producto	Mayor precisión en las medidas Menor tiempo requerido Proceso sencillo y limpio sin necesidad de emplear yesos o silicones Percepción tecnológica del proceso	
	Sistema del producto	Utilización de escáner 3D para captura de tridimensional del usuario, debe mantenerse inmóvil por un breve periodo de tiempo para conseguir el mejor resultado	
EXPERIENCIA	Servicio	Interacción usuario-humano. Toma de medidas corporales del usuario. Servicio rápido, ameno y poco invasivo.	
	Canales	Push and pull: Entendiéndose push cuando nos desplazamos hacia el domicilio del cliente y pull cuando el cliente se desplaza hacia nosotros	
	Marca	Se busca el respaldo de marcas líderes del mercado de generación de modelos mediante escaneo tridimensional	
	Vinculación con el usuario	El usuario puede seguir la evolución del modelo tridimensional e inclusive descargarlo desde la plataforma web	

Tabla IV. Framework de medición corporal (2017).

V.1.5 Generador de modelo paramétrico

Tabla V. El generador de modelo paramétrico (GMP) es un sistema de algoritmos con relaciones matemático – geométricas que responde a un grupo determinado de parámetros orientados hacia la generación de modelos tridimensionales de prótesis de miembro superior.

No	05	Proceso	Generador de modelo paramétrico
CONFIGURACIÓN	Modelo de ganancia		Cargo extra por personalizaciones especiales de modelo 3D
	Redes		
	Estructura		Plug-in Grasshopper para Software Rhinoceros
	Proceso		Generación de modelos tridimensional de una prótesis compatible antropométricamente con el usuario
OFERTA	Rendimiento del producto		Proceso rápido y confiable Versatilidad de cambios y adaptaciones Precisión en la adaptación antropométrica Visualización en tiempo real de modificaciones Poca intervención humana Simplificación del proceso Ahorro en costos
	Sistema del producto		Generador paramétrico soportado por software de modelado 3D Rhinoceros que emplea motor paramétrico Grasshopper
EXPERIENCIA	Servicio		Interacción máquina-máquina. Proceso automatizado que disminuye el trabajo y tiempo invertidos en la adaptación entre el diseño de prótesis y el usuario
	Canales		El usuario puede seguir el estado y visualizar el modelo a través de la plataforma web
	Marca		Empleo de imagen corporativa y de marca empleada en la plataforma web.
	Vinculación con el usuario		El usuario puede seguir la evolución del modelo 3D de su prótesis a través de la plataforma web

Tabla V. Framework de generador de modelo paramétrico (2017).

El GMP fue programado con ayuda del software de modelado tridimensional Rhinoceros y el plug-in para diseño paramétrico Grasshopper. Las ventajas de emplear este proceso para el diseño de prótesis son inmediatas. Un gran avance en la calidad y en la reducción de esfuerzos en la modificación y creación de prótesis.

El Diagrama IX presenta la operatividad del generador de modelo paramétrico.

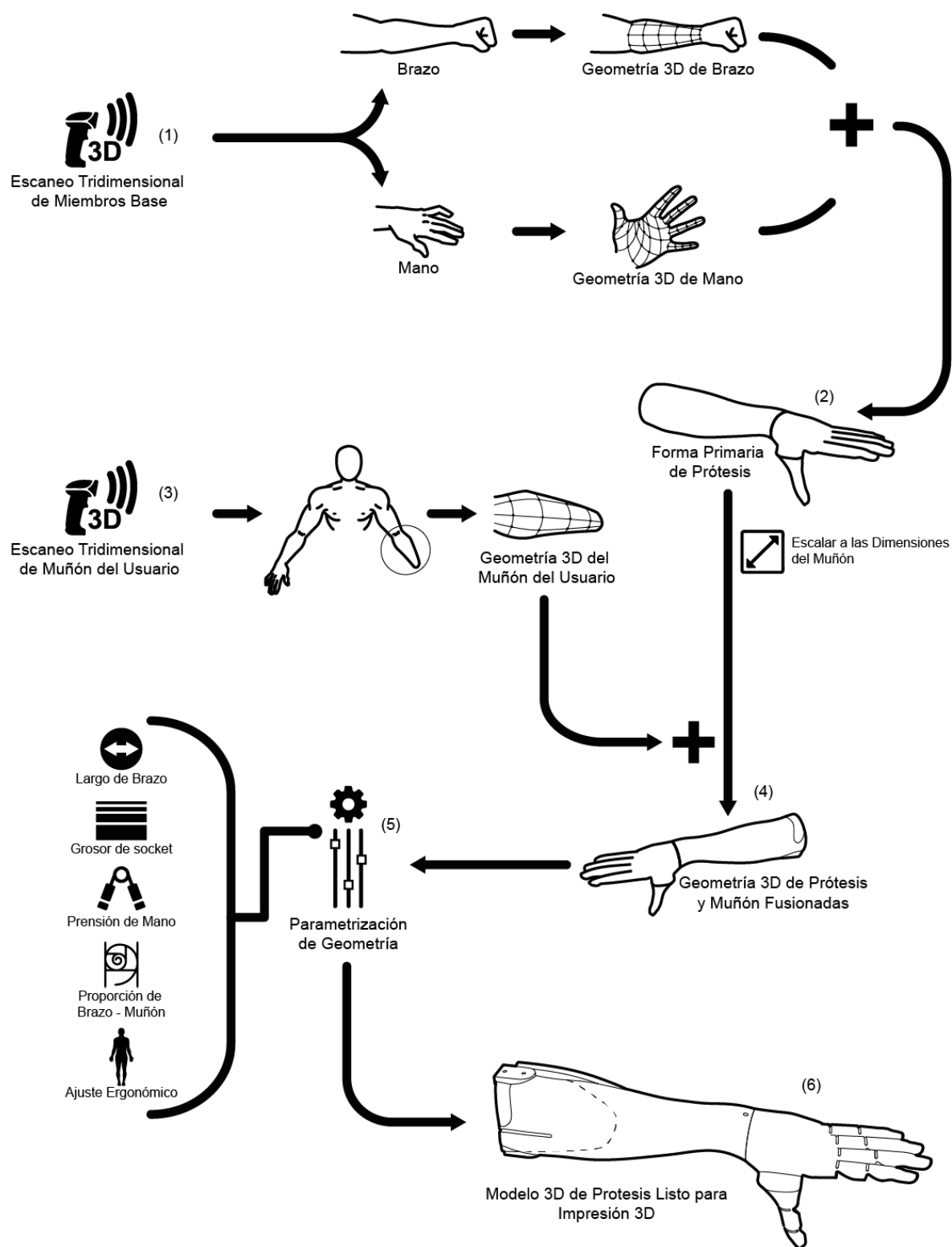


Diagrama IX. Diagrama de generador paramétrico (2017).

1) Escaneo tridimensional de miembro base:

Para realizar el diseño paramétrico de una prótesis se requiere una forma primaria o base a partir de la cual trabajar, para el caso de prótesis transradial se realizan escaneos tridimensionales de antebrazo y mano por separado y de esta forma se obtienen geometrías virtuales de las extremidades.

2) Forma Primaria de Prótesis:

Con base a las geometrías de la etapa anterior se obtiene una forma primaria de la prótesis, resultado de la copia, modificación y diseño a los escaneados originales. Visualmente y anatómicamente proporcional y coherente pero sin mecanismos y socket integrado por el momento.

3) Escaneo Tridimensional de Muñón de Usuario:

Se requiere realizar el escaneo del muñón y parte del brazo del usuario. El modelo tridimensional del muñón se limpia y se prepara para ser introducido al sistema paramétrico.

4) Geometría 3D de Prótesis y Muñón fusionadas:

Con la introducción del muñón al sistema, se calculan sus dimensiones y se comparan con las de la forma primaria de la prótesis, con base en un algoritmo esta es redimensionada y alineada con el modelo del muñón para conservar la proporción antropométrica. El largo del brazo es introducido manualmente por el operador, lo que iguala el largo del miembro completo. Completadas estas tareas ambos, el modelo básico de prótesis y el modelo del muñón se fusionan para formar una geometría única.

5) Parametrización de Geometría:

La parametrización de la geometría final consiste en introducir manualmente los parámetros a los que dicha geometría deberá responder para completar la prótesis, el largo de la prótesis para la simetría de ambos miembros, el grosor de material que tendrá, la profundidad de los

cortes en la terminal de mano para variar la capacidad de prensión, la curvatura de los extremos en contacto con la piel del usuario y la proporción del muñón en relación a las dimensiones totales de la prótesis son algunos de los parámetros a considerar.

6) Modelo 3D de Prótesis listo para Impresión 3D:

Tras modificar la geometría en relación con los parámetros ingresados, el resultado es el modelo tridimensional de una prótesis viable para ser impresa en 3D. Preparar los archivos para el proceso de impresión corre a cuenta del operador ya que la configuración varía dependiendo la tecnología y materiales empleados.

V.1.5.1 Análisis de requerimientos de prótesis

El generador de modelo paramétrico permite la creación de prótesis de diseño único para el usuario al que va dirigido. Si bien el nivel de personalización permitido por el sistema es amplio, responde a una serie de criterios o requerimientos de diseño establecidos. La metodología para la selección de dichos requerimientos se explica en seguida.

V.1.5.1.1 Análisis de prótesis análogas

Objetivo: Identificación y análisis de propiedades funcionales, estéticas y ergonómicas en muestra de productos análogos.

Presentación de muestra seleccionada

(1)Robohand 1



(2)Robohand 2



(3)Flexyhand 2



(4)Flexy Arm 2



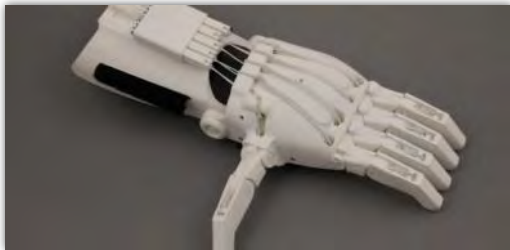
(5)Cyborg Beast



(6)RIT Arm



(7)Raptor Hand



(8)Talon Hand 2.x



(9)K-Hand



(10)Odysseus Hand



(11)Not Impossible Hand



Tabla VI. Muestra de análogos (2017).

V.1.5.1.2 Análisis técnico de muestra

NÚMERO	PRODUCTO	MATERIAL PRINCIPAL	PROCESO PRODUCTIVO	COMPONENTES DEL SISTEMA										PUNTUACIÓN	
				ARTICULACIÓN			PRENSIÓN				INTERFAZ MUÑÓN - TERMINAL		SUECIÓN AL MUÑÓN		ÁREA DE SUJECCIÓN
				MATERIAL	TIPO		MATERIAL	TIPO	PULPEJOS	TEXTURA EN TERMINAL	CAPACIDAD DE PRENSIÓN MANUAL	MATERIAL	TIPO	MATERIAL	TIPO
1	Robohand 1	Plástico ABS o PLA	Impresión 3D y termoformado			1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
2	Robohand 2	Plástico ABS o PLA	Impresión 3D y termoformado			1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
3	Flexyhand 2	Plástico ABS o PLA	Impresión 3D			3	3	1	1	1	3	1	1	1	24
4	Flexy arm 2	Plástico ABS o PLA	Impresión 3D			2	2	1	1	1	2	1	1	1	23
5	Cyborg beast	Plástico ABS o PLA	Impresión 3D			2	2	2	2	1	2	1	1	1	22
6	RIT ARM	Plástico ABS o PLA	Impresión 3D			1	1	2	1	1	1	1	1	1	18
7	Raptor Hand	Plástico ABS o PLA	Impresión 3D			2	2	2	2	2	2	1	1	1	22
8	Talon hand 2.X	Plástico ABS o PLA	Impresión 3D			1	1	3	1	1	1	1	1	1	18
9	K-hand	Plástico ABS o PLA	Impresión 3D			3	3	1	1	1	3	1	1	1	23
10	Odysseus Hand	Plástico ABS o PLA	Impresión 3D			3	3	1	1	1	2	1	1	1	20
11	Not impossible hand	Plástico ABS o PLA	Impresión 3D y termoformado			2	2	1	1	1	1	1	1	1	13

Tabla VII. Análisis técnico (2016)

DESCRIPCIÓN DE INCÓGNITAS	
Sumergible en agua	¿Es posible sumergir el producto en agua sin efectos negativos para alguno de sus componentes?
Piezas modulares reemplazables	¿Es posible dividir pieza en subsistemas individuales que puedan reemplazarse en lugar de reemplazar toda una pieza completa?
Durabilidad	¿Cuán resistentes son los componentes y cuan largo es su tiempo de vida?
Mantenimiento	¿Cuánto dinero y esfuerzo hay que invertir para mantenimiento y con cuanta frecuencia?
Seguridad	¿Qué tan seguro es de usar? ¿Tiene componentes que podrían lesionar al usuario o a terceros?
Accesibilidad	¿Qué tan difícil es de conseguir esta prótesis o sus componentes para una persona promedio?
Escalabilidad	¿Cuánto podemos modificar la escala del producto? ¿La modificación es general o es posible escalar partes individuales?
Complejidad de ensamble	¿Qué tan difícil sería para una persona promedio el armar esta prótesis?
Nivel de personalización	¿Qué tanto nos es posible modificar este diseño sin que pierda su esencia?
Estética	Análisis general de la proporción, orden, simetría y armonía. ¿Es bello? ¿Se ve bien?
Costo general	Suma de gastos implicados en la fabricación. ¿Cuánto me va a costar el fabricar esta prótesis?
Proceso productivo	¿Cuáles son los procesos productivos implicados?
Material principal	¿Qué material predomina en el producto?
COMPONENTES DEL SISTEMA	
<i>ARTICULACIÓN: pieza que mantiene unidos otros componentes con un rango de movilidad</i>	
Tipo	¿Qué clase de unión utiliza la articulación?
Material	¿De qué material de que están hechas las articulaciones?
<i>PRESIÓN: componentes implicados en la prensión o agarre de objetos</i>	
Material	¿De qué material están hechos los elementos implicados en el subsistema de prensión?
Tipo	¿Qué clase de subsistema de prensión se está utilizando?
Pulpejos	¿Simulan la función de los pulpejos de las manos humanas?
Textura en terminal	¿Las terminales cuentan con alguna textura que mejore el agarre?
Capacidad de prensión manual	¿Qué tan fuerte y funcional es la prensión manual aplicable?
<i>INTERFAZ UNIÓN-TERMINAL: Elemento conector entre componente de muñón y de terminal</i>	
Material	¿De qué material está fabricado?
Tipo	¿En qué forma está inspirado? ¿Qué tipo de piezas lo conforma?
<i>SUJECCIÓN AL MUÑÓN: componente de sujeción en contacto directo con el usuario</i>	
Material	¿Material en contacto con la piel?
Tipo	¿Qué clase sujeción comercial es?
Área de sujeción	¿De dónde se apoya al cuerpo humano?

Tabla VIII. Descripción de incógnitas técnicas (2017).

V.1.5.1.3 Análisis ergonómico de muestra

COMPONENTES DEL SISTEMA		PUNTUACIÓN		21																				
		SUJECCIÓN	INTERFAZ MUÑO-TERMINAL		PRENSIÓN	ARTICULACIÓN	SENSIBILIDAD DEL USUARIO	FACILIDAD DE LIMPIEZA	TEMPERATURA AL TACTO	PRODUCTO	NÚMERO													
												PERMEABILIDAD DEL SUDOR	RESPIRACIÓN DE LA PIEL	COLOR PERSONALIZABLE	TEXTURA EN CONTACTO PIEL	MATERIAL EN CONTACTO PIEL	PERSONALIZACIÓN	ADAPTABILIDAD ANTROPOMETRICA	CONTROL SOBRE LA PRENSIÓN	ESFUERZO DE ACTIVACIÓN	RIGIDEZ	CONFIABILIDAD DE ACOPLAMIENTO	FACILIDAD DE ENSAMBLE	COLOR PERSONALIZABLE
20	34	30	26	22	27	21	24	23	19															
1	Robohand 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
2	Robohand 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
3	Flexyhand 2	2	2	3	2	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
4	Flexy arm 2	2	2	3	1	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
5	Cyborg beast	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
6	RIT ARM	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
7	Raptor Hand	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
8	Talon hand 2.X	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
9	K-hand	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
10	Odysseus Hand	2	2	1	2	3	2	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
11	Not impossible hand	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			

Tabla IX. Análisis ergonómico (2016).

DESCRIPCIÓN DE INCÓGNITAS	
Temperatura al tacto	¿Tiene una temperatura agradable de tocar?
Facilidad de limpieza	¿Qué tan difícil es de limpiar? ¿Es necesario desarmarlo? ¿Tiene orificios difíciles de alcanzar?
Sensibilidad del usuario	¿Cuánta sensibilidad en el muñón tiene el usuario al utilizar la prótesis?
COMPONENTES DEL SISTEMA	
<i>ARTICULACIÓN: pieza que mantiene unidos otros componentes con un rango de movilidad</i>	
Color personalizable	¿Este componente está disponible en varios colores?
Facilidad de ensamble	¿Qué tan difícil es de ensamblar con los medios de una persona promedio?
Confiabilidad de acoplamiento	¿Qué tan resistente y confiable es el acoplamiento?
Rigidez	¿Cuán rígido es el acoplamiento? ¿Es un componente sólido o flexible?
<i>PRESIÓN: componentes implicados en la prensión o agarre de objetos</i>	
Esfuerzo de activación	¿Qué tan difícil es de conseguir esta prótesis o sus componentes para una persona promedio?
Control sobre la prensión	¿Qué clase de subsistema de prensión se está utilizando? ¿Tiene la forma convencional de una mano o utiliza un sistema de 3 dedos?
<i>INTERFAZ UNIÓN-TERMINAL: Elemento conector entre componente de muñón y de terminal</i>	
Adaptabilidad antropométrica	¿De qué material está fabricado?
Personalización	¿En qué forma está inspirado? ¿Qué tipo de piezas lo conforma?
<i>SUJECCIÓN AL MUÑÓN: componente de sujeción en contacto directo con el usuario</i>	
Material en contacto con piel	¿Qué material interactúa directamente con la piel?
Textura en contacto con piel	¿Qué material interactúa directamente con la piel?
Color personalizable	¿Este componente está disponible en varios colores?
Respiración de la piel	¿La piel puede respirar a través del material?
Permeabilidad del sudor	¿El sudor es absorbido o se acumula?

Tabla X. Descripción de incógnitas ergonómicas (2017).

V.1.5.2 Parametrización de requerimientos seleccionados

Objetivo: Análisis de con base a los siguientes parámetros: determinante ¿Por qué y para qué?, determinado ¿Cómo?, Indicador ¿Unidad de medida? y Cuantificación ¿Unidades requeridas? (Véase Tabla XI - Tabla XVI).

FUNCIONALES

SISTEMA						
TIPO	REQUERIMIENTO	PARÁMETRO DETERMINANTE ¿Por qué y para que?	PARÁMETRO DETERMINADO ¿Cómo?	INDICADOR	CUANTIFICACIÓN	IMAGEN
	GENERALES					
	Utilización de energía mecánica para activar el sistema	Es el tipo de energía mas económica y fácil de utilizar	Utilización de mecanismos por poleas y tensores	¿Requiere alguna fuente externa de energía?	No	
	Deberá tener un limite máximo de carga	El levantamiento de grandes cargas deteriora el sistema a mayor velocidad y contrarrestarlo elevaría los costos	Agregando un mecanismo tipo fusible o de sacrificio que seda al superarse la carga recomendada	kg	5	
	Subsistema de prensión intercambiable	Para poder realizar prensiones especificas	Mecanismo que permita el ensamble y desensamble del subsistema	¿Se puede intercambiar el subsistema de prensión?	Si	
	Se evitara el uso de tornilleria como subsistema articular	Limita la escalabilidad del sistema	Utilización de subsistemas de unión fabricables en conjunto al sistema	¿Es escalable?	Si	
	SUBSISTEMA ARTICULAR					
	Simplificar el mecanismo de poleas y tensores	Reducir el numero de componentes	Movimientos articulares de las falanges deberán ser simultáneos	Numero de movimientos articulares de las falanges	1	
	Múltiples posiciones asegurables	Para bloquear la articulación en ciertas posiciones que permitan al usuario descansar durante tareas de presión prolongadas	Diseño de un seguro que bloquee la articulación en la posición en que se encuentra	Numero de posiciones asegurables	10	
	SUBSISTEMA DE PRENSIÓN					
	Capacidad de prensión regulable	Para permitir la sujeción de objetos pequeños, medianos o grandes	Utilización de tensores ajustables para modificar la amplitud de la palma	Amplitud de apertura	Amplia, media o cerrada	
	SUBSISTEMA DE SUJECCIÓN					
	Remaches removibles	Para permitir el ajuste de los soportes en caso de variación de peso	Utilización de pinzas de presión o remaches tosca	¿Puede ser removido fácilmente?	Si	
	Soporte ajustable	Para permitir usarlo como contrapeso en nuestro sistema mecánico	Al mover el hombro opuesto al del sistema se generara tensión en el mecanismo que será usada para activar el sistema de prensión	cm	1 a 5	

Tabla XI. Parametrización de requerimientos funcionales (2017).




SISTEMA						
TIPO	REQUERIMIENTO	PARÁMETRO DETERMINANTE ¿Por qué y para que?	PARÁMETRO DETERMINADO ¿Cómo?	INDICADOR	CUANTIFICACIÓN	IMAGEN
TECNOLÓGICOS	GENERALES					
	Fabricable mediante impresión 3D	Se busca reducir los costos	Simplificando todos los procesos de fabricación en uno solo	Numero de procesos implicados	2	
	Tiempos cortos de producción	Manteniendo bajos los tiempos de producción se abaratan los costos y se vuelve mas accesible	Generando un modelo 3D con todas las consideraciones técnicas que esta tecnologia requiere para ser eficiente	Tiempo	3 dias	
	Manufacturable en plástico	Porque es el material mas común en la impresión 3D FDM	PLA	gr	300	
	SUBSISTEMA ARTICULAR					
	Utilización de materiales flexibles	Presentan comportamientos predecibles ante la aplicación excesiva de una carga	Utilizando el material de caucho en la producción mediante manufactura aditiva	Deformación real	**	
	Fabricable en conjunto con los otros subsistemas	Para evitar problemas al momento de escalar el sistema	Fabricable mediante manufactura aditiva	Proporcionalidad con los otros subsistemas	100%	
	SUBSISTEMA DE PRENSIÓN					
	Materiales flexibles en terminales	Para que haga la función de los pulpejos en la mano humana	Utilizando caucho en las terminales del subsistema de presión	Deformación real	**	
	SUBSISTEMA DE INTERFAZ					
	Ahorro máximo de material	Reducir costo de producción	Utilizando estructuras que solo apliquen material en áreas donde es realmente necesario	gr	300	
	Se fabricara en dos o mas partes	Para que entre en la superficie de impresión máxima que una impresora 3D tiene	Se dividirá la pieza en partes y se unirán al terminar el proceso de fabricación	Numero de partes	De 2 a 3	
	SUBSISTEMA DE SUJECCIÓN					
	Aceptara la adhesión de otros materiales	Para mejorar la sujeción mediante fricción	Agregando telas o plásticos termoformados en el soporte de sujeción	coeficiente de fricción	**	
	Se utilizaran materiales plásticos biocompatibles	Para proporcionar un mejor agarre al cuerpo sin absorber el sudor ni causar reacciones alérgicas	Utilizando correas de Nylon	¿Qué porcentaje de biocompatibilidad tiene?	99	

Tabla XII. Parametrización de requerimientos tecnológicos (2017).

SISTEMA						
TIPO	REQUERIMIENTO	PARÁMETRO DETERMINANTE ¿Por qué y para que?	PARÁMETRO DETERMINADO ¿Cómo?	INDICADOR	CUANTIFICACIÓN	IMAGEN
ESTRUCTURALES	GENERALES					
	Poco esfuerzo requerido para armar el sistema	Para acelerar los tiempos de fabricación y el numero de componentes involucrados	Ensamblajes de baja complejidad	**	**	
	Comportamiento ante las rupturas o impactos previsible	Para anticipar como y donde se romperá el sistema ante un impacto	Utilización de plásticos con propiedades dúctiles	Grado de deformación soportable	**	
	Largo tiempo de vida del producto	Para sacarle el mayor provecho a la inversión inicial	Acomodando los componentes a imprimir en la posición idónea para obtener la resistencia máxima de la pieza	Tiempo de vida por componente	Mínimo 6 meses	
	Sistema antioxidante	Para prolongar el tiempo de vida y dar mayor libertad al usuario	Evitando el uso de componentes metálicos oxidables	Índice de oxidación	0	
	SUBSISTEMA ARTICULAR					
	Diseño con componente de sacrificio o bujía	Para tener seguridad de cual será el punto de ruptura	Utilizando materiales flexibles ensambles de presión	¿Ruptura predecible?	Si	
	Flexibilidad graduable	Para personalizar el esfuerzo humano requerido durante la activación	Cambiando el infill de las piezas durante su fabricación 3D	% de Infill	%10-100	
	SUBSISTEMA DE INTERFAZ					
	Alta resistencia mecánica	Para que sea capaz de soportar su propio peso y el de la carga en presión	Diseñándolo para soportar la tensión, compresión y torsión	psi	**	
ECONÓMICOS	GENERALES					
	Bajo costo de producción	Para mantener bajos los costos de comercialización	Fabricándolo mediante impresión 3D	\$	Máximo \$2000.00	
	Bajo costo de comercialización	Para mantener el sistema accesible a personas sin ingresos altos	Liberando el sistema bajo una licencia free code	Costos de patente	\$0	
	Distribuíble por todo el país a precios económicos	Para tener un mayor alcance en la población	Aplicando el intercambio de archivos fabricables en la red	Estados de la república a los que puede enviarse	Todos	
	Costo de mantenimiento accesible	Para garantizar la extensión del tiempo de vida del producto	Dividiendo el sistema en subsistemas y estos a su vez en módulos que puedan ser reemplazados en caso de dañarse	Costo promedio por modulo reemplazado	\$100-200	
	SUBSISTEMA ARTICULAR					
	Fabricación rápida y económica	Para poder reemplazarlos inmediatamente después de que fracture	Diseñando una forma simple que sea fabricable mediante impresión 3D	Tiempo y costo	10 min/\$30-50	
	SUBSISTEMA DE SUJECCIÓN					
	Materiales disponibles en tiendas de conveniencia	Para mantener los costos de producción bajos	Utilizando correas y materiales prefabricados ya disponibles en el mercado	Numero de procesos mecánicos al que es sometido	De 1 a 2	

Tabla XIII. Parametrización de requerimientos estructurales y económicos (2017).














SISTEMA						
TIPO	REQUERIMIENTO	PARÁMETRO DETERMINANTE ¿Por qué y para qué?	PARÁMETRO DETERMINADO ¿Cómo?	INDICADOR	CUANTIFICACIÓN	IMAGEN
FORMALES	GENERALES					
	Utilización de formas naturales y orgánicas	Para proporcionar una estética mas real y aceptable para terceros	Utilización de principios biomiméticos	¿Copia la biomimética de un brazo humano?	Si	
	Todos los componentes deben verse parte del mismo sistema	Para crear la percepción de unidad en el diseño, mantener la apariencia natural del miembro	Simplicidad de la forma, relación entre las partes y repetición de elementos	Numero de factores de cumple	3/3	
	El sistema debe de atraer el interés de los usuarios	Para incrementar la frecuencia de uso del sistema	Utilización de materiales con propiedades especiales como: brillo en la oscuridad, cambio de color con la temperatura, flexible, etc.	¿Cuenta con alguna propiedad especial?	Si	
	Estilo personalizable	Para que responda a los diferentes estilos que cada usuario pueda tener	Agregando elementos decorativos en la superficie (texturas, patrones, formas, relieves)	¿Acepta adhesiones de elementos decorativos?	Si	
	SUBSISTEMA ARTICULAR					
	Debe ser intuitivo	Para que usuario entienda rápidamente como debe de colocarse	Diseñándolo como un sistema de presión o broche	Tiempo	5 min	
	Forma discreta	Para que no roben protagonismo al sistema como conjunto	Usando uniones articulares internas	¿Puede verse?	No	
	Rango de movimiento articular biomimético	Para dar la impresión de naturalidad al ser usado	Copiando el rango de movimiento que tiene una extremidad superior normal	Grados	Determinados por la extremidad	
	SUBSISTEMA DE PRENSIÓN					
	Forma biomimética a la mano humana	Para tener un diseño consecuente a lo conocido por el usuario antes de sufrir su amputación traumática.	Utilizando el sistema de falanges de 5 dedos igual que la mano humana	Numero de dedos	5	
	Utilización de pulpejos en los terminales	Para proporcionar un mejor agarre de presión	Permitiendo la compresión de los pulpejos al hacer presión sobre un objeto	Deformación real	**	
	Textura en terminales	Mejorar la fricción en la presión	Aprovechando los patrones de impresión que deja esta tecnología	Grosor de muescas	0,3 mm	
	SUBSISTEMA DE INTERFAZ					
	Estructura en malla	Reduce peso y materiales	Diseñando un patrón mallado en lugar de un volumétrico solido	% superficie	50	
	Montaje de accesorios	Para dar la sensación de normalidad al usuario	Agregando una superficie de soporte en el área que conecta con el subsistema de presión que representara la muñeca de la mano humana	¿Se puede utilizar un reloj?	Si	
	SUBSISTEMA DE SUJECCIÓN					
	Acoplamiento poco invasivo	Para permitir que pase desapercibido debajo de la ropa	Evitando el uso de remaches pronunciados y correas con dobleces muy gruesos	Grosor en mm	4 mm Max	

Tabla XIV. Parametrización de requerimientos formales (2017).











SISTEMA						
TIPO	REQUERIMIENTO	PARÁMETRO DETERMINANTE ¿Por qué y para que?	PARÁMETRO DETERMINADO ¿Cómo?	INDICADOR	CUANTIFICACIÓN	IMAGEN
ERGONÓMICOS	GENERALES					
	Afinidad del sistema a los gustos y la personalidad del usuario	Incrementar la frecuencia de uso del sistema	Colores personalizables	Gama de colores disponibles	10	
	Sumergible en agua	Para permitir al usuario la realización de tareas cotidianas donde el agua esta involucrada, como bañarse, lavar trastes, ropa, etc.	Utilizando materiales hidrófobos	Sumergible en agua	Si	
	Peso regulable	Para adaptar el sistema al peso aproximado de la extremidad opuesta del paciente	Cambiando el % de infill al momento de fabricar la pieza	% infill	%10-100	
	Modelo 3D escalable	Para adaptar el sistema a las proporciones corporales del usuario	Utilizando software que permita escalar modelos tridimensionales en mas de 3 dimensiones	Dimensiones	3	
	Temperatura ambiente al tacto	Para favorecer la aceptación del sistema como un miembro	Utilización de materiales termoaislantes que conservan el calor por mas tiempo que el metal	grados centigrados	18	
	Evitar lesiones autoinflingidas o a terceros	Evitando el uso de bordes pronunciados	Aplicando empalmes y chafianes	Radio	4 mm	
	Fácil limpieza del sistema	Para incrementar frecuencia de mantenimiento al sistema	Conformado por pocas piezas	Numero de piezas	15	
	SUBSISTEMA ARTICULAR					
	Fácil embonado de uniones	El usuario podría resultar lesionado o frustrado durante el proceso de embone de las piezas, proceso repetido durante cada sesión de mantenimiento	Agregando sistemas sencillos y con las tolerancias apropiadas de acoplamiento según el material y el proceso empleado, las piezas deben embonar sin necesidad de herramientas especiales	Fuerza muscular de prensión	**	
	Rigidez de articulación regulable	Porque no todas las personas tienen la misma fuerza, es necesario poder regular la rigidez que tendrá la articulación al momento de activarla	Utilizando la configuración de infill durante el proceso de manufactura	%infill	%10-100	
	Acoplamientos confiables	A pesar de que se requiere un embonado fácil en los componentes, también es necesario que resistan las cargas a las que serán sometidos, de otra forma el usuario no sentirá confianza usando su sistema y se desincentivara su uso	Evitando acoplamientos abiertos, que permitan que la articulación seda ante movimientos en ejes no previstos	Dimensiones espaciales	3	

Tabla XV. Parametrización de requerimientos ergonómicos part 1 (2017).










SISTEMA						
TIPO	REQUERIMIENTO	PARÁMETRO DETERMINANTE ¿Por qué y para que?	PARÁMETRO DETERMINADO ¿Cómo?	INDICADOR	CUANTIFICACIÓN	IMAGEN
ERGONÓMICOS	SUBSISTEMA DE PRENSIÓN					
	Fuerza aplicada regulable	Porque no todas las personas tienen la misma fuerza, es necesario poder regular la cantidad de fuerza aplicada para que la presión se lleve a cabo	Empleando sensores , se apretan o se sueltan dependiendo la fuerza que se quiera emplear	Fuerza muscular de flexión	**	
	Presión controlable	Para poder controlar con precisión la cantidad de fuerza que se esta aplicando al objeto sometido a presión	Transmitiendo la sensación de presión desde el sistema de presión hasta el muñón del usuario	Presión muscular	**	
	SUBSISTEMA DE INTERFAZ					
	Evitar enganchamientos o atascos con la ropa del usuario	Para permitir que el usuario utilice ropa convencional sobre el sistema	Diseñando la superficie lisa sin protuberancias ni salientes pronunciadas	% Uniformidad de superficies	80-100	
	Adaptable antropométricamente	Para tener dimensiones proporcionales al resto del cuerpo y proyectar simetría en el usuario	Puntos clave escalables individualmente en el modelo 3D	% de precisión antropométrica	90	
	SUBSISTEMA DE SUJECCIÓN					
	Deberá ser no reactivo al sudor humano	Para evitar la absorción del sudor y alargar el tiempo de vida	Utilización de materiales hidrófobos	% de repulsión del sudor	100	
	Conservara parte de la sensibilidad del usuario	Para permitirle la sensación de es él quien interactúa con el objeto	Evitando cubrir toda la superficie de la piel con material, es importante dejar secciones abiertas	% de piel cubierta	60	
	Adaptable antropométricamente	Para asegurar que la mayor parte del subsistema este en contacto directo con la piel, aumentando el agarre y la fricción	Puntos clave escalables individualmente en el modelo 3D o material flexible asegurado con presión	% de material en contacto directo con la piel	90	
	Coeficiente de fricción alto	Para incrementar el agarre del miembro	Agregando textura al material en contacto directo con la piel	% de superficie texturizada	95%	
	Permitirá la circulación del aire entre el subsistema	Para no interferir con el sistema térmico corporal	Utilizando solo el material necesario en los puntos indispensables en contacto con el cuerpo	% de piel cubierta	60	

Tabla XVI. Parametrización de requerimientos ergonómicos part 2 (2017).

V.1.6 Impresión de modelo 3D

Tabla XVII. Durante esta etapa del servicio lo intangible se vuelve tangible, contrario a la creencia popular, la impresión 3D no es un proceso sencillo de realizar. La preparación del archivo es clave para garantizar el éxito en la realización de la pieza que se desea materializar. La orientación en que se imprimirá la pieza, el porcentaje de relleno, el grosor de pared, la velocidad, la temperatura, la posición del soporte, el material y el tipo de impresora que se emplea son algunos de los factores que es importante considerar. Si se prepara correctamente el archivo, el proceso de impresión 3D tarda aproximadamente 35 horas continuas para imprimir la totalidad de los componentes. Bajo el supuesto de que ninguna impresión fallo en el proceso, ya que es común que se den fallos fuera de nuestro control al imprimir en 3D, tal es el caso de: Obstrucción de boquilla extrusora por polvo, mala adherencia de la pieza a la plancha de impresión, ruptura o atasco del filamento en el cabezal, imperfecciones en el filamento, cambios bruscos de temperatura, variaciones eléctricas, etc.

No	06	Proceso	Preparación e impresión de modelo 3D
CONFIGURACIÓN	Modelo de ganancia	Cobro por servicio de impresión (tiempo y gramos) Cargos extra por utilización de materiales con propiedades especiales Patrocinio de costos de impresión, maquinaria o materiales	
	Redes	Proveedores de impresoras, insumos y materiales para impresión 3D Red de voluntarios expertos en impresión 3D	
	Estructura	La plataforma web arroja el orden en que deben atenderse los casos en relación a la fecha y hora en que llegaron las solicitudes del servicio, es decir, se crea una cola de impresión	
	Proceso	Materialización del modelo 3D de la prótesis	
OFERTA	Rendimiento del producto	Variedad de materiales y colores Proceso rápido, preciso, sencillo y económico	
	Sistema del producto	Archivo .stl de modelo 3D transferible vía web e imprimible en cualquier otra tecnología de impresión 3D	
EXPERIENCIA	Servicio	Interacción humano-maquina. Proceso de manufactura rápida y económico, permite múltiples pruebas y correcciones si inversión de tiempo significativa	
	Canales	Notificación del estado de la impresión a través de la plataforma web	
	Marca	Empleo de imagen corporativa y de marca empleada en la plataforma web	
	Vinculación con el usuario	El usuario puede seguir el avance del proceso de impresión desde la plataforma web	

Tabla XVII. Framework de generador de impresión de modelo 3D (2017).

V.1.7 Limpieza y ensamble de piezas

Tabla XVIII. Posterior al proceso de impresión se encuentra la etapa de limpieza y ensamble, a lo largo de ella se retiran los soportes, adherencias e irregularidades presentes en los componentes impresos y se ensamblan unos con otros. También se incorporan los componentes externos que conforman el sistema mecánico como cordeles de nylon, soportes plásticos, correas y remaches. El ensamble debe ser parcial para facilitar las correcciones posteriores a la prueba con el usuario.

No	07	Proceso	Limpieza y ensamble de piezas
CONFIGURACIÓN	Modelo de ganancia	Implementación de programa de voluntariado y pasantías para reducir costos humanos	
	Redes	Universidades Asociaciones civiles Servicios sociales Instituciones de gobierno Voluntariado	
	Estructura	Equipos de trabajo dirigidos por un jefe de área	
	Proceso	Limpieza y retoque de componentes impresos y ensamble parcial de la prótesis	
OFERTA	Rendimiento del producto	Proceso rápido y sencillo de realizar en comparación con los procesos empleados en servicios análogos No requiere de herramientas o equipo especializado	
	Sistema del producto	Juego de limas, pistola de calor y remachadora	
EXPERIENCIA	Servicio	Interacción humano-humano. El usuario se ahorra trabajo de detalle y ensamble de piezas, en caso de solicitarlo se le puede capacitar para llevar a cabo esta tarea por el mismo	
	Canales	Notificación del estado del proceso a través de la plataforma web	
	Marca	Empleo de imagen corporativa y de marca empleada en la plataforma web Se explota el modelo de asociación civil para reclutar mano de obra voluntaria	
	Vinculación con el usuario	El usuario sigue el progreso desde la plataforma web. Posibilidad que el usuario se involucre en esta fase si así lo desea	

Tabla XVIII. Framework de limpieza y ensamble (2017).

V.1.8 Prueba de pieza con el usuario

Tabla XIX. Etapa en la que se corrobora el ajuste ergonómico y funcional de la prótesis, así como la similitud antropométrica de la prótesis con el resto del cuerpo. Se le pregunta al usuario acerca de sus sensaciones y preferencias al tener la prótesis puesta. En caso de no haber objeción alguna por parte del usuario, se procede al armado completo de la prótesis, de lo contrario se corrige el diseño en el sistema paramétrico y se reimprimen los componentes.

No	08	Proceso	Prueba de pieza con el usuario
CONFIGURACIÓN	Modelo de ganancia	Servicio social y voluntariado de licenciados en rehabilitación y áreas afines Cobro extra por correcciones estéticas fuera de tiempo Alianza estratégica con instituto de rehabilitación o protésico	
	Redes	Institutos de rehabilitación Consultorios protésicos Consultorios médicos	
	Estructura	Se emplean formatos preestablecidos de evaluación Todas las observaciones y cambios necesarios se registran en el perfil del usuario en la plataforma web	
	Proceso	Evaluación antropométrica y ergonómica de la prótesis resultante	
OFERTA	Rendimiento del producto	La opinión del usuario juega un papel importante en esta fase del proceso Se hacen observaciones de expertos en la materia Primer avance tangible para el usuario Es el momento en que el usuario puede sugerir cambios estéticos finales, como texturas, colores, relieves o materiales	
	Sistema del producto	Prótesis pre ensamblada para ajustes con el usuario	
EXPERIENCIA	Servicio	Interacción usuario-humano. Momento en que el usuario interviene con observaciones y evaluaciones del socket y la prótesis	
	Canales	La evaluación se debe realizar de manera presencial	
	Marca	Empleo de imagen corporativa y de marca empleada en la plataforma web. Toma de video para generar contenido publicitario audiovisual.	
	Vinculación con el usuario	Incentivo para el usuario a participar más activamente en el diseño de su prótesis, con el producto tangible le es sencillo hacer observaciones del producto	

Tabla XIX. Framework prueba de pieza con usuario (2017).

V.1.9 Entrega

Tabla XX. Etapa final de un ciclo, se le hace entrega al usuario de su prótesis terminada con la recomendación de traerla periódicamente para realizarle mantenimiento. A partir de este punto, el usuario tiene un periodo de tiempo para experimentar con la prótesis, al finalizar dicho periodo se le plantea la opción de continuar en la segunda fase del proceso, en la que podrá generar sus propios diseños de prótesis con base a sus experiencias y gustos.

No	09	Proceso	Entrega
CONFIGURACIÓN	Modelo de ganancia	Cobro por prótesis finalizada Aplicación de encuestas de satisfacción Documentación audio-visual para difusión en redes sociales	
	Redes	Institutos de rehabilitación Consultorios protésicos Consultorios médicos Servicios de paquetería	
	Estructura	Procesos gestionado a través de la plataforma web	
	Proceso	Prueba de desempeño y entrega de prótesis	
OFERTA	Rendimiento del producto	La entrega puede ser de manera presencial o por correo, proceso rápido y sin complicaciones	
	Sistema del producto	Prótesis finalizada y servicio periódico de mantenimiento	
EXPERIENCIA	Servicio	Interacción usuario-humano. El usuario tiene la posibilidad de continuar con nuevas etapas del proceso, acceso a tutoriales básicos de modelado e impresión 3D en la plataforma web y servicio de mantenimiento periódico	
	Canales	Entrega al usuario de manera presencial (el usuario se desplaza a nosotros) Entrega al usuario de manera no presencial (se emplea servicio de paquetería)	
	Marca	Empleo de imagen corporativa y de marca empleada en la plataforma web. Toma de video para generar contenido publicitario audiovisual.	
	Vinculación con el usuario	El cliente es invitado a continuar con la siguiente fase del proceso en la plataforma web	

Tabla XX. Framework de entrega (2017).

V.1.10 Intervención creativa

Etapa subsiguiente a completar el primer ciclo del servicio. Se plantea de esta forma debido a que a lo largo de la investigación salió a relucir que la mayoría de los usuarios que nunca antes habían tenido una prótesis, no sabían que esperar al respecto, por lo que no respondían bien a la pregunta: ¿Qué necesitas?. Por otro lado, cuando el usuario cuenta con dicha experiencia, inmediatamente aporta ideas y comparte sus opiniones respecto a cómo debía ser su prótesis ideal. Es por lo anterior que en la propuesta se plantea forzar a los usuarios nuevos a completar un ciclo del servicio en el cual serán guiados más estrictamente a través de cada etapa y al final se les otorga una prótesis básica tipo mano. Solo cuando hayan completado el primer ciclo se les concede la posibilidad de continuar al siguiente ciclo de intervención creativa, que como su nombre lo indica, es donde se motiva al usuario a diseñar su prótesis ideal y a experimentar con el proceso.

Esta etapa comprende dos variantes; la intervención creativa total y la intervención creativa parcial.

- **La total** va enfocada a aquellos usuarios decididos a tener una participación más estrecha con el proceso, que desean aprender y llevar por si mismos tanto el diseño como el modelado de su solución protésica. En este modo se le imparten cursos de capacitación en diseño y modelado tridimensional, así como en procesos de manufactura aditiva. Un asesor supervisa el proceso de diseño del usuario y lo guía hasta que complete su meta (Véase Tabla XXI).

No	10.1	Proceso	Intervención creativa total
CONFIGURACIÓN	Modelo de ganancia	Servicio social y voluntariado de licenciados en diseño industrial y áreas afines Captación de patrocinios El usuario puede integrarse como voluntario al finalizar su proyecto	
	Redes	Universidades Estudios y despachos de diseño Programas de voluntariado	
	Estructura	La plataforma web gestionara los avances del usuario Foro para publicación de avances y dudas	
	Proceso	Capacitación avanzada del usuario en tecnología de fabricación digital Diseño y fabricación de solución protésica personalizada	
OFERTA	Rendimiento del producto	Comprensión avanzada de fabricación digital y modelado 3D Empoderamiento del usuario Buena terapia ocupacional Divertido Hobbies	
	Sistema del producto	Capacitación del usuario en materiales y procesos	
EXPERIENCIA	Servicio	Interacción usuario-humano. Acceso al equipo y maquinaria empleado en la iniciativa, asesorías personalizadas de experto en fabricación de prótesis, acceso a tutoriales y capacitaciones y participación en los foros de la comunidad para orientación y solución de dudas	
	Canales	Plataforma web Presencial	
	Marca	Empleo de imagen corporativa y de marca empleada en la plataforma web.	
	Vinculación con el usuario	Empoderarían del usuario y libertad para decidir el ritmo de trabajo	

Tabla XXI. Framework de intervención creativa total (2017).

- **La parcial** está dirigida a aquellos usuarios interesados en contribuir en el diseño de su solución protésica pero que por alguna razón no se sienten cómodos o se encuentran imposibilitados de manejar herramientas de diseño y manufactura digital. En esta modalidad, un diseñador escucha y comprende las necesidades y observaciones del usuario y con base a ellas elabora la solución final que el usuario solicita (Véase Tabla XXII).

No	10.2	Proceso	Intervención creativa parcial
CONFIGURACIÓN	Modelo de ganancia	Cobro extra por contratación de diseñador Servicio social y voluntariado de licenciados en diseño industrial y áreas afines Captación de patrocinios El usuario puede integrarse como voluntario al finalizar su proyecto	
	Redes	Universidades Estudios y despachos de diseño Programas de voluntariado	
	Estructura	La plataforma web gestionara los avances del usuario Foro para publicación de avances y dudas	
	Proceso	Capacitación básica del usuario en las tecnologías utilizadas en el proceso Diseño y fabricación de solución protésica personalizada	
OFERTA	Rendimiento del producto	Comprensión básica de fabricación digital y modelado 3D Empoderamiento del usuario	
	Sistema del producto	Aplicación de sondas culturales al usuario para determinar las necesidades del usuario, trabajo en colaboración con diseñador capacitado	
EXPERIENCIA	Servicio	Interacción usuario-humano. Acceso al equipo y maquinaria empleado en la iniciativa, asesorías personalizadas de experto en fabricación de prótesis, acceso a tutoriales y capacitaciones, participación en los foros de la comunidad para orientación y solución de dudas	
	Canales	Plataforma web Presencial	
	Marca	Empleo de imagen corporativa y de marca empleada en la plataforma web.	
	Vinculación con el usuario	Empoderarían del usuario y libertad para decidir el ritmo de trabajo	

Tabla XXII. Framework de intervención creativa parcial (2017).

Capítulo VI. Prototipado

El siguiente capítulo expone el proceso de prototipado realizado durante el diseño de prótesis para miembro superior a nivel transradial.

El diseño resultante fue bautizado como prótesis modelo estándar (véase Ilustración XXIV) y es el diseño otorgado a los usuarios durante la primera fase del proceso. Visualmente imita la morfología de la mano humana para contribuir en la asimilación y aceptación de la prótesis.



Ilustración XXIV. Prótesis modelo estándar (2017)



Ilustración XXV. Prótesis modelo estándar sosteniendo un vaso (2017).

Cuenta con la capacidad de prensión manual suficiente para sostener objetos de dimensiones similares a una botella o vaso de agua (Véase Ilustración XXV). Empleando la prótesis modelo estándar como base y la experiencia vivida por el usuario con la misma, es posible crear variaciones enfocadas a desempeñar tareas de valor para el beneficiario.



VI.1 Análisis dinámico de articulación y experiencia empática

La finalidad del análisis dinámico es comprender como se comporta el miembro durante movimientos convencionales. Como apoyo visual de los movimientos se marcaron puntos de control en posición estática y se registraron los desplazamientos experimentados (Ilustración XXVI). Por otro lado la experiencia empática se realizó inmovilizando articulaciones del miembro superior, como el codo y la muñeca, con la finalidad de simular el rango de movilidad que se tendría portando una prótesis convencional, bajo estas circunstancias se realizaron movimientos y tareas cotidianas como sostener o desplazar objetos (Ilustración XXVII).

Ilustración XXVI. Análisis dinámico (2017).

Haber realizado ambos ejercicios y analizar el movimiento articular del codo permitió determinar la orientación anatómica ideal para la prótesis en orden de proporcionar el rango más amplio de movimiento posible con el menor esfuerzo. Esta información se usó como punto de partida para el proceso de diseño y bocetaje.



Ilustración XXVII. Análisis empático (2017).

VI.2 Elementos de suspensión

Los elementos de suspensión son componentes que sirven de arnés para evitar que el socket se desprenda del muñón a la vez que permite realizar la tensión en el codo que activa el mecanismo de la prótesis.

Con base en el análisis de movimiento del codo se decidió por desarrollar un elemento flexible que permita el movimiento articular natural. Los primeros modelos se elaboraron en papel y posteriormente en hule cortado con láser. Después de someterlos a diversas pruebas se terminó de fabricar el soporte con un elastómero termoplástico mediante impresión 3D (Ilustración XXIX). Permitir reforzar áreas específicas y ahorrar material en otras junto con la comodidad del material en contacto con la piel son las principales ventajas de este método de fabricación (Véase Ilustración XXVIII).



Ilustración XXVIII. Prototipado de elementos de suspensión (2017).



Ilustración XXIX. Prueba de elemento de suspensión flexible (2017).

VI.3 Diseño y modelado de socket

Para que el socket se adapte a la morfología del brazo humano se utilizó un escáner 3D con el cual capturaron mallas poligonales en tres dimensiones tanto de la geometría de un brazo humano como la del muñón del usuario. Ambas mallas fueron limpiadas de imperfecciones y convertidas en superficies NURBS para posteriormente pasar a ser modelos sólidos trabajables con el programa de modelado 3D Rhinoceros y apoyo del plug-in paramétrico Grasshopper (Ilustración XXXI).



Ilustración XXX. Escaneo 3D de muñón (2017).

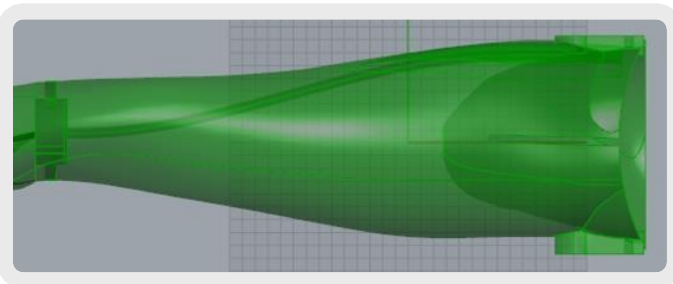
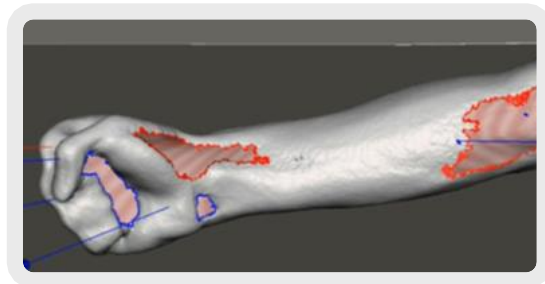


Ilustración XXXI. (Malla poligonal de brazo (arriba) y superficie NURB trabajada en Rhinoceros (abajo) (2017).

Finalmente se obtuvo un diseño preliminar de socket con geometría externa similar al brazo humano e interior a medida del muñón del usuario. Muchas pruebas y errores fueron necesarias para determinar tanto los parámetros de impresión que generen un socket resistente, ligero y fabricable en el menor tiempo posible, como la curvatura del corte ergonómico necesario para realizar movimientos de flexión y extensión (Ilustración XXXII).



Ilustración XXXII. Socket impreso en 3D (2017).

VI.4 Unión entre suspensión y socket

Diseñar una interfaz entre el socket y la suspensión del brazo fue el siguiente paso en el proceso de prototipado. Con base en observaciones realizadas se sabe que en prótesis profesionales otorgadas en los sistemas de salud pública se emplean remaches de aluminio para las uniones del socket. Sin embargo los usuarios reportan molestias y heridas en el muñón como resultado, por lo que se analizaron opciones alternativas.

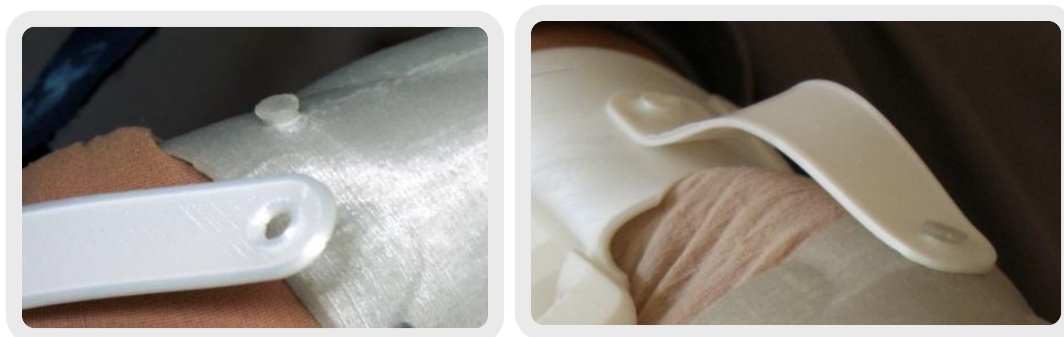


Ilustración XXXIII. Sistema de unión flexible. Conectado (izq.), desconectado (der.) (2017).

Las primeras pruebas concluyeron con la fabricación de un sistema de uniones flexibles, las correas que sirven de interfaz entre el socket y el brazalet se fabricaron en material flexible con un orificio por el cual se aseguraba a presión un perno ubicado en el socket (Ilustración XXXIII).

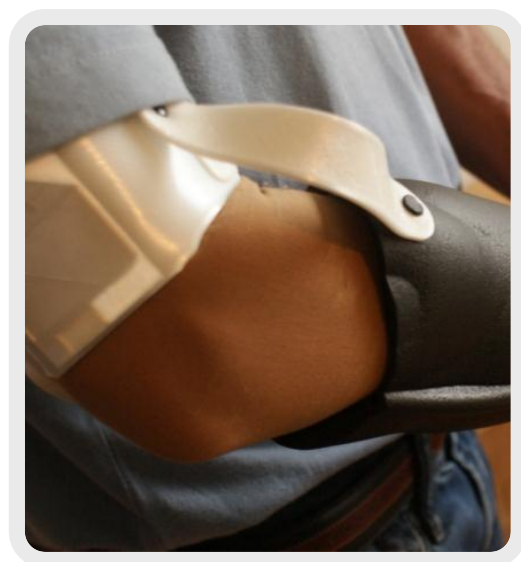


Ilustración XXXIV. Suspensión flexible conectada a socket (2017).

Aunque este medio resultó ser efectivo en la unión al socket, no fue así en el extremo unido al brazalet, debido a la orientación de impresión y la naturaleza flexible de los pernos, estos constantemente se fracturaron ante la aplicación de fuerza. El empleo de remaches de aluminio para unir los soportes al brazalet y pernos en el extremo que une con el socket resultó ser efectivo y cómodo para el usuario (Véase Ilustración XXXIV).

VI.5 Función mecánica

La prensión manual en este tipo de prótesis se activa gracias al movimiento de flexión en el codo. Una serie de cordones anclados a la punta de los dedos en el terminal cruzan a través del socket hasta anclarse en el brazalete de la suspensión en el brazo. Flexionar el brazo crea tensión en los cordones cuyo anclaje por ambos extremos les impide desplazarse. Las articulaciones que componen los dedos, al ser las áreas más vulnerables de la prótesis, seden ante la tensión en los cordones creando el movimiento de prensión (Véase Ilustración XXXV).

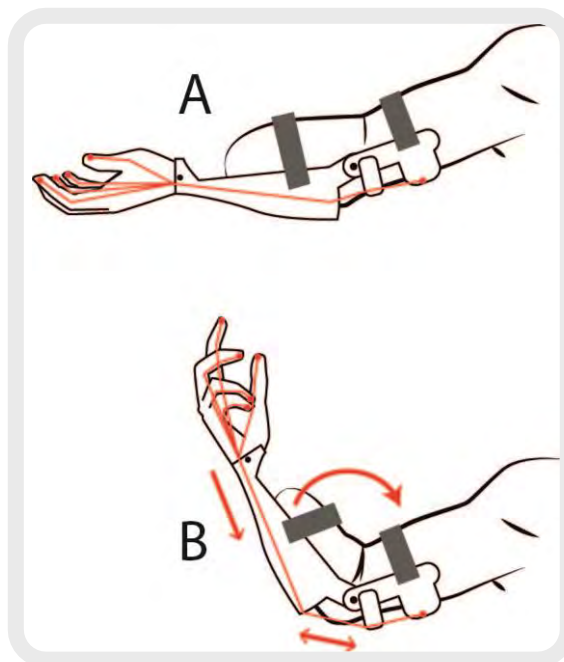


Ilustración XXXV. Mecanismo de activación en prótesis análogas (2017).

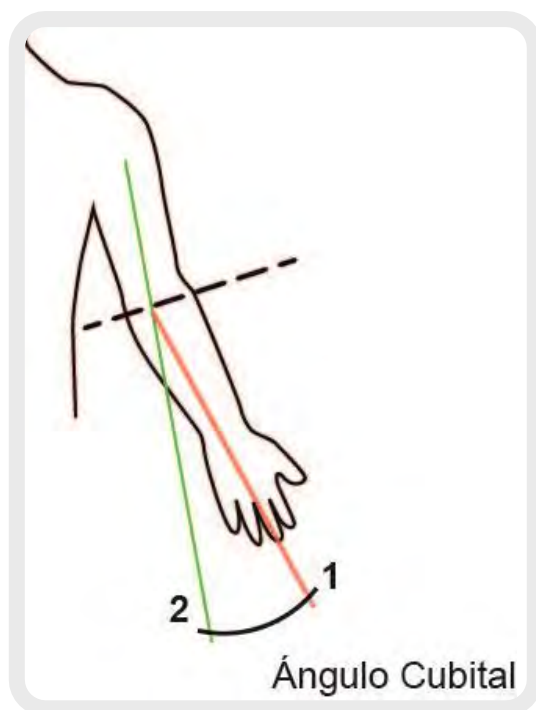


Ilustración XXXVI. Ángulo cubital de brazo (2017).

Normalmente este mecanismo requiere de una unión tipo bisagra que guíe los cordones para crear movimiento de palanca entre el socket y la suspensión del brazo. Lo voluminoso que este mecanismo puede llegar a ser es su principal desventaja al verse antinatural, antiestético y hacer imposible el cambio de ropa con la prótesis puesta. Se observó además incomodidad y heridas causadas por el roce de la piel con la bisagra al flexionar el codo. El motivo de estos roces se debe al ángulo de desviación cubital, ángulo formado por el antebrazo en relación al húmero. Dimensión que varía en cada persona y provoca que el movimiento flexo – extensor del codo no sea sobre un mismo plano al contrario de las bisagras convencionales (Véase Ilustración XXXVI).

Para dar solución a los problemas antes mencionados se planteó la posibilidad prescindir de la bisagra y en su lugar utilizar el sistema natural de palanca dado por el codo. El diseño consistía en dirigir los cordones desde el socket hacia un soporte para anclaje orientado al tríceps y que forma parte del brazalete flexible. De esta forma los cordones atraviesan por la parte posterior del codo que al ser flexionado presiona el cordón y lo tensa (Véase Ilustración XXXVIII).

Diversos prototipos fueron fabricados, con material de caucho flexible y procesos de impresión 3D para crear un brazalete que dirigiera los cordones y protegiera la piel del usuario de la tensión generada por los mismos (Véase Ilustración XXXVII).

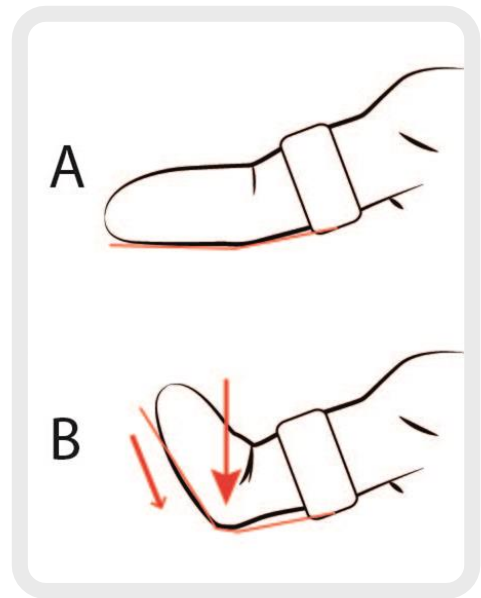


Ilustración XXXVIII. Mecanismo de activación propuesto (2017).



Ilustración XXXVII. Prototipos de activación mecánica (2017).

Aunque se logró con éxito proteger la piel, esta no era suficiente para generar una presión manual confiable. La flexibilidad del material utilizado ocasiono que la geometría del brazalete cediera ante el esfuerzo y la tensión se desvaneciera.

Se intentó reemplazar algunos componentes del brazalete con materiales rígidos y únicamente conservar flexibles aquellos en contacto directo con la piel. Después de probar con los nuevos ajustes, se determinó que ese sistema mecánico no proporcionaba la fuerza requerida y que era necesario replantear el diseño.

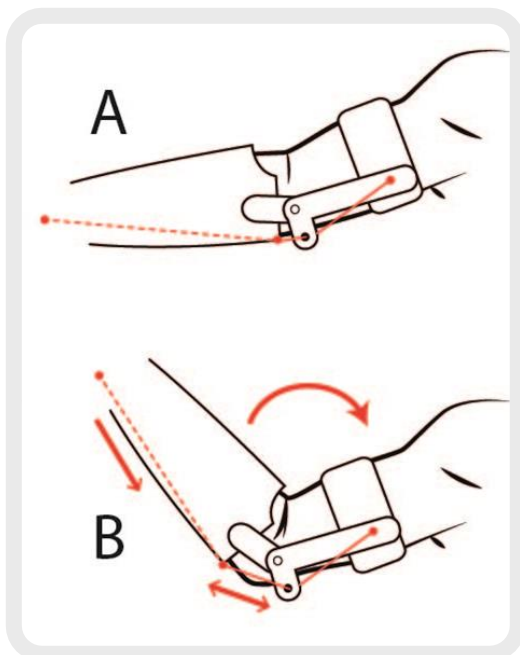


Ilustración XXXIX. Activación mecánica con bisagra integrada (2017).

Se integró una bisagra como elemento de suspensión y mecanismo activador de la prensión manual (Ilustración XXXIX), por lo que se descartó el sistema de unión por presión flexible anteriormente planteado, dicho sistema descartado por su mala función mecánica, se incluirá en prótesis que no requieren mecanismos de activación, como mostraremos más adelante en la Ilustración LXV.

Para mitigar los efectos negativos causados por el sistema de bisagra se conservó el brazalete flexible como elemento de suspensión en contacto con la piel, este brazalete es unido a los laterales de la bisagra a través de remaches de aluminio que no molestan al usuario (Ilustración XL). Estos soportes laterales son

tridimensional del muñón que se realiza al principio del proceso y están diseñadas para ser fácilmente adaptadas a la forma y ángulo del codo mediante procesos termoformables. Para unir la bisagra con el socket sin causar molestias, se utilizaron pequeñas pijas sin punta y se creó un receptor con el grosor suficiente para evitar atravesar el socket, como medida adicional se recubre el área interna con material plástico grado médico para prevenir el contacto del muñón con los tornillos.

Con la reintegración de la bisagra fue posible resolver el mecanismo de prensión manual. Las correas fueron dirigidas por el costado del socket hasta pasar por uno de los soportes laterales de la bisagra, estos soportes actúan como palanca para crear tensión. Gracias a la naturaleza termoformable del material empleado, fue posible reducir las dimensiones del mecanismo para



Ilustración XL. Integración de bisagra (2017).



Ilustración XLI. Flexión de bisagra (2017).

mejorar su estética y permitir ser disimulado con una prenda de ropa convencional (Véase Ilustración XLI).

Aunque el primer prototipo de la nueva propuesta funcionó bien, se detectó que mucha de la tensión creada por la flexión se perdía debido a que el brazalete flexible ajustado al brazo con listones elásticos se expandían más allá de lo necesario ante la tensión como se muestra en Ilustración XLIII.

Para resolver ese detalle se fabricó un nuevo brazalete que cubriera tres cuartas partes de la periferia del brazo, de esta forma menor longitud de correa sería necesaria, y se reemplazaron las correas flexibles por correas convencionales. Cabe mencionar que para reducir la fricción de la piel con elementos de suspensión y correas se le colocó al muñón una media de nylon como recubrimiento. El resultado fue un sistema mecánico funcional y esbelto, disimulable bajo la ropa (Véase Ilustración XLII).

Para resolver ese detalle se fabricó un nuevo



Ilustración XLIII. Pérdida de tensión por elásticos (2017).



Ilustración XLII. Mecanismo en flexión (2017).

VI.6 Dispositivo terminal

El dispositivo terminal de esta prótesis busca imitar la morfología de la mano humana y su función es la de prensar objetos a modo de pinza oponiendo el dedo pulgar contra la palma.



VI.6.1 Primera prueba

El dispositivo se trabajó a partir de la forma de una mano humana modelada en el software Rhinoceros. Se imprimió en una sola pieza con material flexible para impresión 3D (Ilustración XLIV). Para poder imprimir la mano completa sobre la superficie de impresión el dedo pulgar debió permanecer alineado al resto de la palma. El resultado no alcanzó la calidad esperada, debido a la falta de geometrías planas que estuvieran en contacto directo con la superficie de impresión fue necesario colocar mucho material de soporte que afectó la calidad de la superficie. Así mismo, el enorme tamaño de la mano difícilmente entro en la superficie estándar de la impresora 3D de 30x20x20 cm aproximadamente, demoró 15 horas de trabajo continuo y empleó 200 gramos de material flexible, una quinta parte del total disponible.



Ilustración XLIV. Modelo de primera prueba (2017).



Ilustración XLV. Modelo de segunda prueba (2017)

VI.6.2 Segunda prueba

La geometría de la mano fue estilizada para reducir el grosor de la palma y aumentar la longitud de los dedos. Se tomó la decisión de dividir la palma en secciones: dedos flexibles y palma rígida. Los cortes se realizaron rectos y en ángulo para proveer una superficie plana que este en contacto con la plancha de impresión, el ángulo incrementa la resistencia de las articulaciones y así se evita que la unión entre capas de material flexible sea paralela al eje de flexión de las articulaciones. Gracias a estas modificaciones fue posible colocar el dedo pulgar en posición opuesta a la palma, se redujo el tiempo total de impresión a 5 horas y la cantidad de material flexible necesario fue de 90 gramos. Con la mano ensamblada con adhesivo industrial se realizaron las primeras pruebas de prensión, donde fue necesario aplicar gran cantidad de fuerza para llevarla a cabo, tras unos pocos intentos las articulaciones comenzaron a desprenderse y se suspendió la prueba (Véase Ilustración XLV).



VI.6.3 Tercera prueba

Después de analizar los resultados anteriores se determinó que el material flexible empleado no era el adecuado, por lo que se utilizó un material con mejores propiedades. Tras observar la pieza resultante se hizo evidente la necesidad de reducir la temperatura de impresión para mejorar la calidad de la superficie. Otras mejoras realizadas en esta prueba fueron el anexo de orificios para asegurar los componentes con correas plásticas además de usar pegamento industrial, se hizo más pronunciada la oposición del dedo pulgar con respecto a la palma y se colocaron los dedos en posición extendida con respecto a la palma, esto último con el fin de incrementar la resistencia del material a la presión manual. Las pruebas de presión manual con esta pieza fueron exitosas, se consiguió por primera vez levantar un objeto aunque la fuerza necesaria fue tal que lesionó al usuario (Véase Ilustración XLVI).

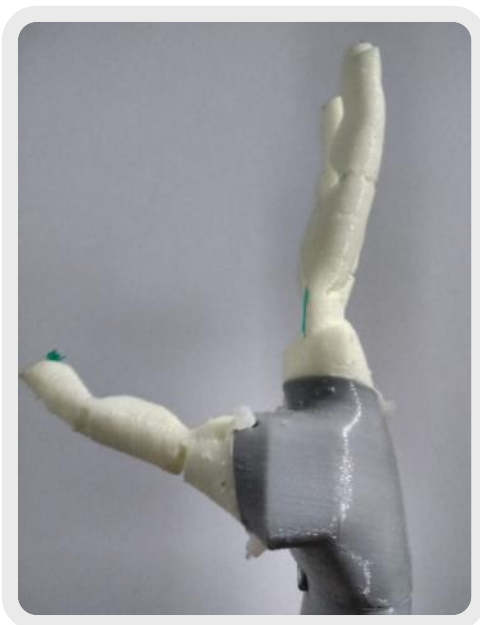


Ilustración XLVI. Modelo de tercera prueba (2017).



VI.6.4 Cuarta prueba

La geometría de la palma fue ligeramente alterada: se redujo el tamaño de la palma y se incrementó la longitud de los dedos para mejorar la prensión de objetos Ilustración XLVII. La temperatura de impresión paso de 230 a 190 grados centígrados. Se crearon canales para disimular las correas plásticas que mantienen las secciones de la mano unidas. El cambio más significativo fue la disminución del grosor en las articulaciones flexibles para suavizar la activación de la prensión manual. La calidad estética y de fabricación de esta pieza fue excelente aunque durante las pruebas dinámicas la presión manual de objetos no fue el esperado; la cantidad de fuerza requerida aun fue demasiada y el agarre de la mano torpe.



Ilustración XLVII. Modelo de cuarta prueba (2017).



VI.6.5 Quinta prueba

Los dedos se colocaron paralelos a la palma para reducir la tensión de la prensión manual, se reconfiguraron los parámetros de impresión para aplicar menos relleno en los componentes flexibles y se optimizó el agarre de los dedos reposicionando las articulaciones a lo largo del dedo y configurando el grosor de las articulaciones distales 0.5 mm menor a las articulaciones proximales. Con estas modificaciones se consiguió reducir la cantidad de fuerza requerida para activar el mecanismo y la eficacia de la prensión con un agarre cóncavo de los dedos (Véase Ilustración XLVIII).



Ilustración XLVIII. Modelo de quinta prueba (2017).



VI.6.6 Sexta prueba

Dado que el material flexible utilizado para las pruebas anteriores sólo se encuentra disponible en color blanco se realizó una prueba de pintura para ver como reaccionaba el material (Ilustración XLIX). La pintura aplicada tenía una base de resina de poliéster de alta resistencia. El material no rechazó la pintura sin embargo las áreas sometidas a mayor flexión fueron desprendiendo la pintura y la pieza quedó antiestética al poco rato de uso.



Ilustración XLIX. Modelo de sexta prueba (2017).

VI.6.7 Modelo final

La Ilustración L muestra el dispositivo terminal resultante del proceso de prototipado. Modificaciones menores fueron realizadas para aumentar fuerza de prensión y calidad de impresión; el largo de los dedos índice y medio se incrementó con respecto al anular y meñique, la posición de las articulaciones de estos últimos se acercó 5 mm hacia la palma, lo que permitió flexión adelantada por sobre los otros dedos, adicionalmente estos fueron separados unos de otros para favorecer la superficie de agarre (Véase Ilustración LI).



Ilustración L. Modelo final (2017).

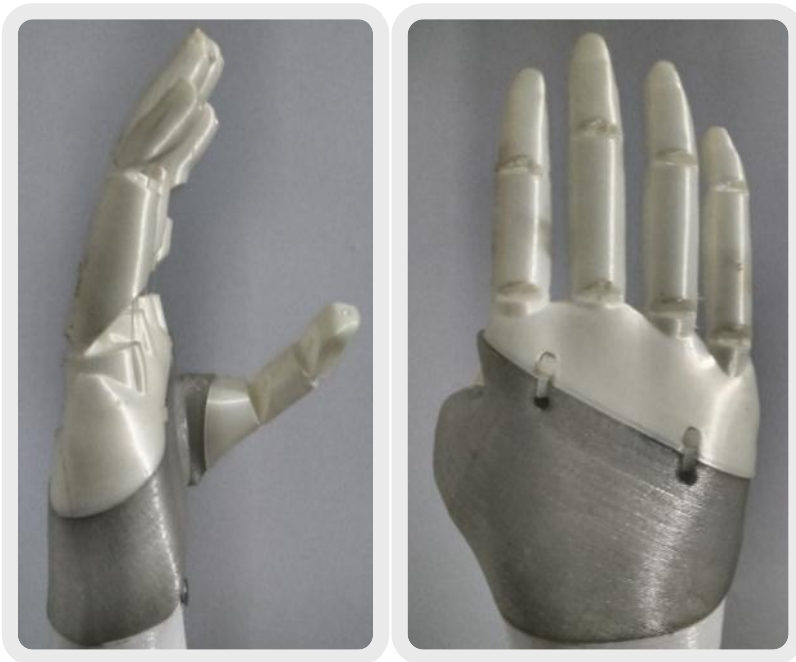


Ilustración LI. Modelo final vista lateral y posterior (2017).

Capítulo VII. Resultados

Para la constatación del sistema propuesto un voluntario denominado “sujeto 01” fue sometido a la totalidad del proceso, la Tabla XXIII contiene el perfil completo del voluntario.

Sujeto 01: Usuario masculino en edad madura, persona con discapacidad de miembro superior por amputación traumática a causa de accidente laboral. Cuenta con experiencia previa en el proceso de fabricación y manejo de prótesis mecánicas.

Perfil de sujeto 01			
Nombre:	Anónimo	Años viviendo con discapacidad:	Dos
Género:	Masculino	Edad:	49 Años
Hijos:	Si	Estado Civil:	Casado
Delegación:	Los Reyes La Paz	Estado:	Estado de México
Ocupación:	Comerciante	Situación Económica:	Proveedor familiar
Origen de la Discapacidad:	Trauma	Ubicación de la Discapacidad:	Antebrazo

¿Recibe asistencia médica relacionada a su discapacidad?	No
¿La recibió en el pasado?	Si
¿De qué tipo?	Psicológica, rehabilitación física y farmacológica
¿Realiza algún tipo de rutina de rehabilitación?	No
¿Padece algún dolor relacionado con su discapacidad?	Si
Estado físico del muñón	Sin anormalidades
Alergias	Ninguna
¿Ha utilizado o utiliza prótesis?	Si
Tipo	Mecánica de gancho
Medio de obtención	IMSS
¿Se sintió satisfecho con la experiencia?	No
Explique el porqué:	Es muy pesada y molesta
¿Siente que necesita de una prótesis para realizar su día a día?	Si
¿Por qué razón?	Para realizar mis actividades del día con mayor comodidad
Tarea cotidiana que más se le dificulta	Cocinar
¿Medio por el que se enteró del proyecto?	Redes sociales
¿Qué le motivó a participar en la iniciativa CORPUS?	La necesidad de poder tener una prótesis más cómoda que fuera útil para mis actividades básicas y sobre todo que no lastime.

Tabla XXIII. Perfil de sujeto 01 (2017).



Ilustración LII. Vista frontal de usuario y prótesis (2017).

VII.1 Reporte de experiencia

La Ilustración LII es la vista frontal del usuario portando la prótesis resultado de la primera fase del proceso, dicha fase transcurrió en periodo de una semana, comprendiendo desde el inicio del proceso con la “medición corporal” hasta la “prueba de prótesis con el usuario” etapa durante la cual se comprobó la ergonomía del socket, es decir, se aseguró que la geometría del socket correspondiera con el muñón del usuario, que no hubieran bordes filosos o lacerantes y la nulidad de molestias por roce o constricción muscular al realizar la activación corporal por flexión de codo. Otras comprobaciones realizadas fue la proporción antropométrica de la prótesis con el miembro opuesto (Ilustración LIII) y la fuerza de prensión manual del dispositivo terminal (Ilustración LIV).

Gracias a que no se encontró desproporción corporal y el usuario no reporto molestias fue posible la entrega de la prótesis para el mismo día y así

iniciar un periodo de pruebas que duro 3 semanas. Hasta este punto fue necesario citarse con el usuario únicamente en dos ocasiones, evitando desplazamientos innecesarios del mismo.

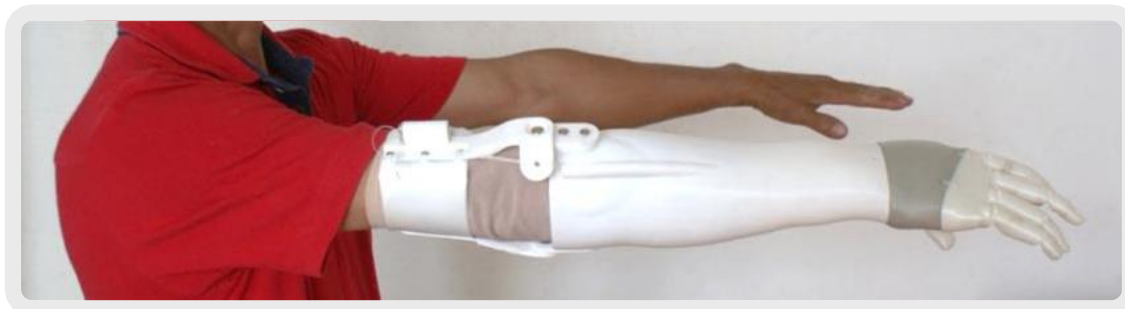


Ilustración LIII. Muestra de proporción corporal con prótesis (2017).

Posterior al periodo de pruebas establecido se organizó un encuentro de retroalimentación con el usuario durante el cual se comentaron sus sugerencias y experiencias usando la prótesis. Dicha retroalimentación permitió conocer el nivel de satisfacción del usuario, y corregir aquellos detalles que fueron insatisfactorios.

A continuación se anexa fragmentos de la entrevista transcrita:



Ilustración LIV. Prueba de fuerza de presión manual (2017).

Entrevistador: Eugenio Ricardez

Entrevistado: Sujeto 01

Lugar: Estudio Huella Cero, Ciudad de México

24 de agosto del 2017

Extractos de entrevista realizada tras concluir un periodo de 3 semanas de prueba con el usuario y la prótesis antes de los ajustes finales en el diseño (Anexo E).

Entrevistador: Hábleme de su experiencia con la prótesis, empecemos por las ventajas.

Entrevistado: Me gusta la mano, lo ligera que es, no pesa. Es muy cómoda, muy fácil de poner, inmediatamente, así como me la quito me la pongo, no me cuesta nada de trabajo y ajusta perfectamente a mi brazo...

Entrevistado: Pues me acomoda bien para agarrar mis cosas y abre perfectamente bien. Ya he empezado a trabajar con ella al grado de agarrar mis tablas (de madera), de poder agarrar mi router (herramienta) y pues la siento muy cómoda. Igual me quedo a la medida de mi mano, es cómoda y muy ligera.

Entrevistador: En la calle ¿cuál ha sido su experiencia con la gente?

Entrevistado: Pues sí, voltean a verme la mano y como que se sorprenden pero pues para mí es algo normal, para mí es mi mano y sinceramente lo que la gente diga no me interesa. Muchos niños dicen - ¡ay! Mira como tiene su mano -. De momento así como que ¡Ay! Este... pero pues para mí es mi mano y es algo normal. La gente siempre va a decir cosas, pero no me interesa. Si se sorprenden cuando me ven, ¡mucha gente!, pero no me dicen nada y la verdad no tiene por qué decirme nada, se sorprenden pero nada más. Para mí pues es mi mano, ahora sé que es una herramienta que traigo puesta.

Entrevistador: Ok, ahora hablemos de las desventajas.

Entrevistado: Las desventajas pues, ligeramente me molesta esta pieza de aquí (señala el borde del brazalete en su brazo), me gustaría que pudiéramos moverla un poquito más para arriba para que no me lastimara el codo, por el momento se me entierra. Me lo tengo que estar subiendo y es lo único. No tengo ninguna otra molestia y no le veo otra desventaja.

Entrevistador: ¿Y en resistencia? ¿Cómo la sentiste?

Entrevistado: Pues hasta ahora yo la he probado para querer agarrar de todo y si siento como que de repente se me resbalan las cosas. Yo siento que me hace falta un poco más de agarre pero pues me es muy fácil poder agarrar, lógico, me tengo que acostumbrar a ella, pero ahora, las primeras semanas que llevo con ella me es útil y me ayuda a hacer mis actividades de diario.

Ya a la larga me molesta un poco que me apreté el soporte, o sea el agarre del brazo pero pues es parte de...

Entrevistador: Ok, en comparación a antes de perder su mano, ¿cuánto diría que le ayuda la prótesis? ¿Es una ventaja tenerla?

Entrevistado: Pues si es una ventaja, porque yo ahorita que la traigo pues... aparte de que simulo que tengo mi mano, a mí me ayuda a agarrar mis cosas. O sea, si es una ventaja tener la prótesis porque para mí ya es una herramienta de trabajo. Usar la prótesis para mí ya es como una herramienta de trabajo con la cual puedo venir haciendo las actividades que antes hacía, lógico que no es igual que mi mano pero pues a mí esto me ayuda (señala la prótesis), como ya te dije yo teniendo una ayuda que a mí me pueda ayudar a seguir trabajando pues esto es para mí, esto a mí me ayuda (señala la prótesis nuevamente), esto es lo que a mí me va a ayudar a seguir haciendo mis cosas que yo venía haciendo. Ya no voy a tener un trabajo fijo, un trabajo de planta en la industria pero si para poder hacer lo que yo hago (refiriéndose a la carpintería y soldadura).

Entrevistador: ¿Cómo has sentido la experiencia del proceso para conseguir prótesis?

Entrevistado: Pues la experiencia ha sido pues algo larga porque yo buscaba con ansias que me hicieran algo, yo no quería estar con mi muñón inclusive, si te has dado cuenta, a mí no me gusta mostrar mi muñón, siempre lo traigo tapado con un calcetín. La experiencia ha sido pues buena. A raíz de estar tocando puertas en algunos lados me han negado la ayuda, en otros pues los costos de las prótesis son caros. Yo he corrido con mucha suerte porque con esta ya son 3 manitas que tengo (refiriéndose a las prótesis). Y como te dije, yo ando buscando algo que me ayude, algo que me ayude a seguir haciendo una actividad y para mí esta (señala la prótesis) es algo que desde un principio, cuando venimos a tocarles la puerta, yo desde un principio quería una de estas (nuevamente señala la prótesis) porque sabía que me iba a ayudar a agarrar y yo ahorita, que he empezado a trabajar con esta prótesis, he visto que me ayuda bastante y es lo que te decía, yo andaba buscando algo más ligero, aunque no sea igual, no ando buscando algo igual a mi mano y a mí esto a mí me ayuda, me ha ayudado. Al menos en esta semanas que la probé me encanto lo ligera que es, me ayuda a hacer parte de mi trabajo y pues.... Pues yo nunca pensé que quedaría así sin mi mano y ahora que hay mucha tecnología y puedo imprimir una de estas (señala la prótesis) yo creo que cualquiera de los que estamos así como yo pues querrían una.

Entrevistador: Y ¿cómo sentiste el proceso?

Entrevistado: El proceso, este... hígole dicen que como es larga la espera, porque ya después que pierdes un miembro lo que quieres es engañarte e inmediatamente remediarlo, te digo, a raíz de tocar muchas puertas por otros lados, fue larga la espera pero ya cuando te llega la ayuda, en el momento que nos dijiste - ¡A ver!, ven Javier, ¡vente!, vamos a empezar -. Pues es rápido, es muy rápido el proceso, es decir, yo quise entrar a una fundación donde te tenías que apuntar, pero te apuntabas y ya había una lista de 200 - 300 gentes en espera para recibir ayuda, entonces ahorita esto que me hicieron, esta (refiriéndose a la prótesis), fue muy rápido, fue en un mes, prácticamente un mes, esto fue muy rápido. Y pues así como me la hicieron pues me ayuda, es una mano que se puede decir de plástico, no sé de qué sea, pero que en realidad a mí me ayuda. Me gusta el diseño moderno y fue algo muy rápido que en 2-3 semanas quedo lista y en cambio en otros lados tienes que ir primero a tocar la puerta, ver que te van a hacer, tienes que estar en una lista de espera, el proceso es muy muy largo, tan solo en el seguro social cuanto tiempo me tuve que llevar para que me entregaran una mano, me avente un año completo. Entonces esto es algo rápido, muy ligero y pues la verdad desconozco su costo pero pues es algo que yo creo que si lo vale, si vale la pena tener una manita así para poder seguir haciendo mis actividades.

Entrevistador: Para finalizar, en su opinión y hablando de este proceso, ¿sintió que su voz fue escuchada?, ¿que se involucró en el proceso y sus recomendaciones fueron atendidas?

Entrevistado: Pues la verdad, sinceramente, yo cuando llegue aquí con ustedes, este... Parece que estaban empezando con esto de las manos pero ya cuando me hablaron e hicimos una cita cordial, pues desde el comienzo la bienvenida fue muy agradable, nos atendieron muy bien, más bien nos atienden muy bien y pues ahora sí a mí me llenaron de todas formas posibles, tanto de gusto como de confianza, de todas formas para yo poder tener esto. Muy agradable el trato, te digo esto fue muy rápido, ya de un mes, un mes que tenemos con esto, fue muy rápido y satisfecho con la labor que ustedes están haciendo.

(Fin de la transcripción)

La retroalimentación arrojó resultados satisfactorios. El usuario afirmó encontrarse satisfecho con el desempeño de la prótesis e hizo cota del incremento en la calidad de vida que tenerla le significó. Con base en sus comentarios se realizaron modificaciones menores al diseño para incrementar el agarre de prensión y solucionar la fatiga que usarla por largos periodos le ocasionaba. La entrega de la prótesis (véase Ilustración LV) con las mejoras incorporadas se realizó la semana siguiente, donde el usuario probó satisfactoriamente el desempeño de la nueva

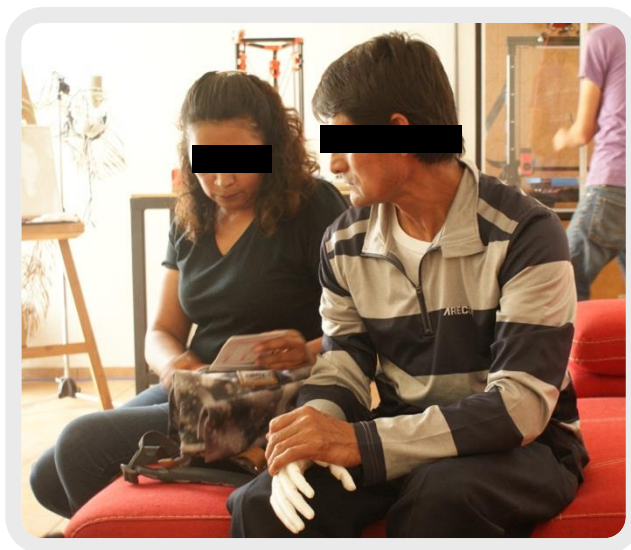


Ilustración LV. Entrega de prótesis final (2017).

prótesis en reemplazo del modelo anterior (Ilustración LVI). Vale la pena comentar que sin importar el número de veces que se fabricó la misma prótesis durante el proceso de prototipado, está siempre ajusto a la perfección con el usuario, reafirmando la propiedad de producción en serie que el sistema propuesto le otorga.



Ilustración LVI. Prueba dinámica de prótesis con usuario (2017).

Al finalizar la entrega se extendió la invitación al usuario para continuar con la siguiente fase del proceso, la Intervención Creativa, a la cual aceptó. Sin embargo, causa del perfil y segmento socio económico al que pertenece; proveedor familiar con poco tiempo libre y acceso limitado a computadoras e internet. Se tomó la decisión de proceder con la Intervención Creativa Parcial y no con intervención total. Se trabajó junto con el usuario para identificar aquellas actividades en las que se sentía limitado incluso con la ayuda de la prótesis Modelo Básico (Ilustración LVIII). Sobresalió el tema de la seguridad financiera del usuario debido a que desde el accidente no ha podido desempeñar trabajos de soldadura, actividad que solía ser un apoyo en su economía.

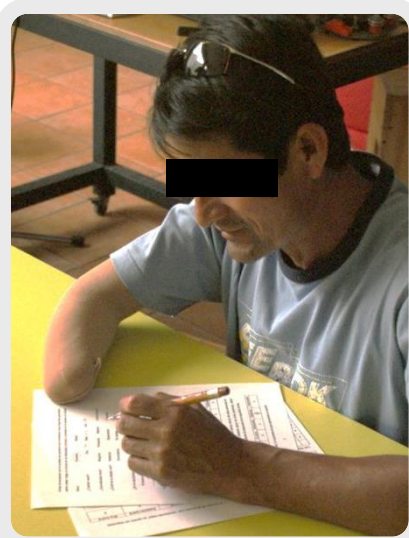


Ilustración LVIII. Entrevista de Intervención Creativa (2017).

El usuario cuenta que aunque con otras prótesis ha tratado de realizar trabajos de soldadura, estas no le permiten sostener la herramienta de manera apropiada por lo que le es preciso utilizar ambas manos y ya no le es posible colocarse la careta de protección, lo que ha repercutido en la salud de sus ojos y múltiples quemaduras. Con esta información se realizaron los primeros bocetos con la supervisión del usuario, aportando su experiencia en soldadura y dando observaciones sobre el diseño.

El primer prototipo se realizó en un lapso de dos días, dado que el diseño no requería función mecánica se emplearon elementos de suspensión flexibles para dejar de lado el de bisagra (Ilustración LVII). La mayoría de las modificaciones en la prótesis se realizó en el dispositivo terminal, diseñado para sostener cualquier tipo de porta electrodo de maquina soldadora. Sin embargo, se preservó la capacidad del terminal para adaptarse al socket de la prótesis Modelo Básico (Véase Ilustración LIX).



Ilustración LVII. Suspensión flexible en prototipo (2017).

El prototipo terminado se le presento al usuario y se le solicito realizar pruebas dinámicas mientras se soldán dos piezas de acero (Véase Ilustración LXI). Al final de la prueba el usuario externo el siguiente testimonio (Anexo G, párr.9):

Enserio que... ¿sabes porque me gusta mucho esto? - refiriéndose al prototipo en su brazo - Porque no se me pega la varilla y con la manita que yo tenía antes se me pega la varilla y ya no me deja avanzar... (Ilustración LXI)



Ilustración LXI. Dispositivo terminal de prótesis Modelo Básico (izq.) y prototipo para soldar (der) (2017).

Con la garantía de que el diseño es funcional y tomando nota de las observaciones hechas por el usuario, se realizaron modificaciones finales al prototipo tales como: ángulo de inclinación del dispositivo terminal, reducción de dimensiones generales, grosor y ajuste de tolerancia en ensambles.



Ilustración LXI. Reacción durante prueba de prototipo (2017).



Ilustración LXI. Prueba de soldadura con prototipo (2017).

El resultado final fue bautizado como *“Morahand; prótesis para trabajos de soldadura”* (Ilustración LXIII, Ilustración LXIV, Ilustración LXV), y se convirtió en la segunda prótesis del catálogo disponible para los usuarios que deseen integrarse a la comunidad de CORPUS.

Prótesis para trabajos de soldadura:

Diseñada con dispositivo terminal de material flexible que mantiene fijo todo tipo de porta electrodos para soldadura (Ilustración LXII) y una correa de seguridad para mantener el cableado lejos del área de trabajo y aumentar el rango de movimiento para el usuario. Permite elaborar cordones de soldadura con precisión y rapidez a la vez que mantiene despejada la otra mano para manipular el



Ilustración LXII. Soporte para porta electrodo (2017).

casco de protección o demás herramientas de trabajo. La prótesis se reforzó con resina de poliéster vertida en los conductos internos el exterior fue recubierto con pintura de poliéster resistente a altas temperaturas. Aunado a lo anterior, se entregaron 3 cabezales de repuesto y una USB con los modelos originales en caso de requerir reimpresión de componentes.



Ilustración LXIII. Morahand, prótesis para trabajos de soldadura (2017).

A manera de comentario, el día de la entrega de la prótesis Morahand, el usuario se presentó con lentes oscuros y comentó haberse quemado las córneas el día anterior consecuencia de no poder colocarse el casco protector mientras soldaba, y tenía necesidad de trabajar bajo cualquier circunstancia, razón por lo que le era urgente recibir la nueva prótesis.

A lo largo de la entrega, fueron documentadas las impresiones del usuario respecto al producto, a continuación se plasman las de mayor relevancia, el contenido completo se encuentra disponible en el área de anexos.

De una u otra manera, desde que la vi dije ¡wow! ya cuando vi que metieron esto aquí – refiriéndose al porta electrodo en el terminal- dije ¡no!, si, esto es lo que me va a ayudar. Esto a mí me sorprende porque pues en primera es algo que no esperaba y que me va a hacer bien, me queda a la perfección. Yo entiendo que no es como si tuviera mi mano, pero me ayudara a salir adelante. (Anexo G, párr. 12)



Ilustración LXIV. Prueba con prótesis para soldadura (2017).

Esto es lo que yo quiero, algo que a mí me ayude, algo que me embone que yo diga - esto si me sirve - como te digo esto para mi me ayudará a ganar dinero porque me va a ayudar a hacer mi trabajo. (Anexo G, párr.10)



Ilustración LXV. Prueba con prótesis vista lateral (2017).

VII.2 Costos

A continuación se expone el cálculo realizado para estimar el valor de la llamada prótesis estándar.

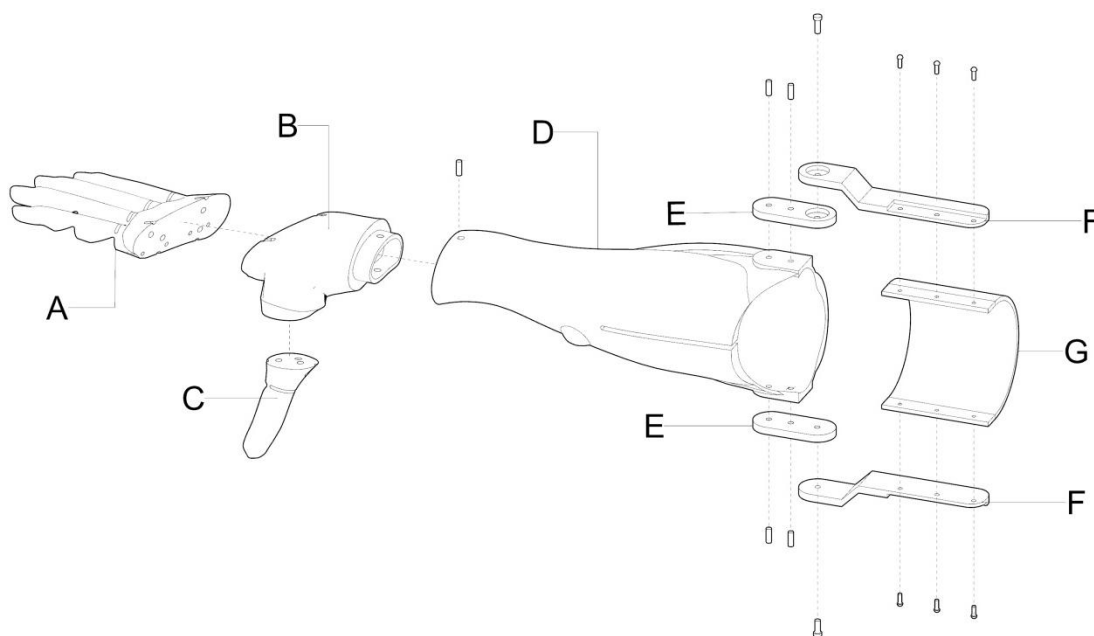


Diagrama X. Explosivo de prótesis estándar (2017).

La materialización del modelo digital de la prótesis se lleva a cabo mediante impresión 3D. Por cuestiones técnicas relacionadas al área de impresión, la optimización del material y el tiempo invertido, se dividió la prótesis en distintos componentes o piezas para su manufactura (Diagrama X). De esta forma el costo neto de cada uno de dichos componentes, como se muestra en la

Tabla XXIV, se calculó en base al tipo de material, cantidad empleada del mismo, tiempo de impresión transcurrido, amortización por adquisición de equipo (

Tabla XXVI) y la energía eléctrica consumida (Tabla XXVIII), así mismo, se incluyó el salario del operador por las horas transcurridas mientras supervisaba el trabajo de las máquinas (Tabla XXIX).

Pieza	Tiempo de Impresión		Material	(grs)	Costo por Material Empleado	Costo Neto por Impresión	Costo de Mano de Obra	Amortización	Costo por Pieza	Insumos	Costo de Prótesis
	Hrs	Min									
D) Socket	10	40	PLA	215.52	\$150.86	\$293.01	\$1,035.09	\$231.71	\$1,559.81	\$400.00	\$4,461.16
B) Palma	3	25	PLA	65.5	\$45.85	\$91.38	\$331.55	\$74.22	\$497.15		
A, C) Dedos	7	4	TPE	76	\$60.80	\$310.13	\$685.75	\$153.51	\$1,149.38		
E, F) Codo	2	42	PLA	48.34	\$33.84	\$69.82	\$262.01	\$58.65	\$390.48		
G) Brazaletes	2	50	TPE	34.84	\$27.87	\$127.84	\$274.95	\$61.55	\$464.33		

Tabla XXIV. Cálculo de costos (2017).

La tasación final no corresponde únicamente a la suma de los costos individuales. Cargos por amortización de maquinaria y herramientas (Tabla XXX) fueron realizados, así como el importe invertido en insumos necesarios durante el armado final de la prótesis (Tabla XXXI). Fundamentados en lo anterior, se estima el costo entre los 4,500 y 6,000 pesos mexicanos, haciendo uso de dos impresoras 3D, bajo la supervisión de un operador y demás factores más adelante descritos, cualquier cambio en dichos factores afectará las operaciones presentadas.

No se puede dejar de aclarar el hecho de que el escenario aquí propuesto implica ser propietario de los materiales, maquinaria y herramientas empleadas durante el proceso. Situación que requeriría de una inversión inicial cercana a los 100,000 pesos mexicanos para la adquisición de los equipos para impresión 3D, herramientas e insumos, los modelos y prototipos. Los productos de esta investigación se realizaron con el apoyo de una empresa que se ajustaba a estas circunstancias. Otro posible escenario es la contratación de un servicio de impresión 3D externo al proceso, situación que compromete tiempos de entrega, calidad del producto y eleva el costo como se muestra en la Tabla XXV. Si bien la subcontratación elimina de momento el pago de salario al operador de los equipos para impresión 3D, en la práctica se sabe que una impresora no requiere mayor cuidado mientras trabaja que la presencia humana en caso de algún fallo. Por lo que mientras

Costo con Servicio de Impresión 3D Subcontratado	
D) Socket	\$1,700.00
B) Palma	\$600.00
A, C) Dedos	\$700.00
E, F) Codo	\$424.30
G) Brazaletes	\$500.00
Total	\$3,924.30

Tabla XXV. Cotización de piezas a través de servicio de impresión 3D subcontratado (Proyecto CREA, 2017).

una pieza con tiempo de impresión de 5 horas se encuentra en proceso, el operador puede dedicarse a detallar y ensamblar otros componentes.

Amortización de Impresoras 3D		
	Impresora 3D Kossel mini	Impresora 3D Replicator 2x
Costo promedio	\$17,000.00	\$50,000.00
Meses de vida útil	12	12
Aumento de costo anual	\$1,700.00	\$5,000.00
Amortización mensual	\$1,558.33	\$4,583.33
Amortización diaria	\$50.27	\$147.85
Amortización por hora	\$11.31	\$33.27

Tabla XXVI. Calculo de amortización de Impresoras 3D (2017).

Costo de Rollo Filamento para Impresión (1 Kg)	
Filamento PLA	\$700.00
Filamento TPE Flexible	\$ 800.00

Tabla XXVII. Precio de rollos de filamento para impresión 3D (2017).

Costo Energético	
Costo bimestral	\$1,000.00
Costo mensual	\$500.00
Costo diario	\$16.13
Costo jornada laboral	\$ 2.02

Tabla XXVIII. Calculo de costo energético (2017).

El cálculo se realizó con base en el precio actual de los modelos de impresora 3D empleados para la fabricación de la prótesis. Se emplean ambas impresoras debido a diferencias técnicas propias del material de impresión para el que fueron diseñadas. La Kossel plástico PLA con área de impresión superior a 25 cm y la Replicator 2X caucho TPE con propiedades flexibles (Tabla XXVII).

Consumo de energía de una red doméstica a 120 V. El cálculo se estima contemplando la operación simultánea de ambas impresoras así como la del computador en que se preparan los archivos de impresión y cualquier otro eventual consumo eléctrico.

Calculo de Salario	
--------------------	--

Gasto Mensual	
Renta	\$5,000
Comida	\$1,500
Luz	\$400
Plan de celular	\$400
Gas	\$500
Internet	\$600
Gasolina	\$350
Ropa	\$1,000
Recreación	\$ 4,000
Productos Domésticos	\$1,000
Gasto Mensual	\$14750
Gasto Total Anual	\$177,000

Estimación de Horas Vendibles Anuales		
Semanas en un año	52	
Días laborales en una semana	5	
Horas laborables/día	8	
Hrs hábiles/año	2080	
Días no laborables	Días	Horas
Feriados	7	56
Vacaciones	15	120
Enfermedad	5	40
Otros	5	40
Horas NO Laborables al Año	256	
Total de Horas Vendibles por Año	1824	

Salario por Hora	\$97.04
------------------	---------

El salario correspondiente al operador de máquinas es el resultado obtenido de dividir un supuesto de gastos anuales del operador entre el total de horas vendibles por año, es decir, las horas restantes tras excluir días no laborales, feriados, vacaciones, etc. Se da por entendido que las cifras expuestas son un aproximado real a los gastos del investigador responsable de fabricar la prótesis aquí presentada y que los resultados pueden variar en cualquier otro contexto.

Tabla XXIX. Calculo de salario por hora (2017).

Amortización de Maquinaria y Herramientas					
	Remachadora Manual	Pinza sacabocado	Limas de joyero	Pistola de calor	Escáner 3D
Costo Promedio	\$700.00	\$150.00	\$300.00	\$1,500.00	\$30,000.00
Meses de Vida Útil	12	12	12	12	12
Aumento de Costo Anual	\$70.00	\$15.00	\$30.00	\$150.00	\$3,000.00
Amortización Mensual	\$64.17	\$13.75	\$27.50	\$137.50	\$2,750.00
Amortización Diaria	\$2.07	\$0.44	\$0.89	\$4.44	\$88.71
Amortización por Hora	\$0.47	\$0.10	\$0.20	\$1.00	\$19.96

Inversión inicial Requerida	\$99,650.00
-----------------------------	-------------

Tabla XXX. Calculo de cobro por amortización de maquinaria y herramientas (2017).

Insumos	
100 Remaches	\$100.00
Cordón de Nylon	\$30.00
Perlas para Bisutería	\$20.00
Correa de Poliéster	\$25.00
Tornillería	\$35.00
Lijas	\$40.00
Cinchos Plásticos	\$50.00
Policaprolactona	\$100.00
Total	\$400.00

Tabla XXXI. Calculo de gasto en insumos empleado (2017).

Conclusiones

Involucrar al usuario en el proceso de fabricación de prótesis y otorgarle herramientas para participar activamente en el diseño de la misma, demostró impactar positivamente en su calidad de vida a corto plazo, y aunque es pronto para determinar efectos a futuro, el pronóstico es optimista.

La centralización del proceso por medio de la plataforma web promete evitarle insatisfacciones al usuario, al ser un canal de comunicación directo con la empresa. A través del cual el usuario se mantiene informado en todo momento de su situación actual en el proceso, el tiempo restante para concluirlo y permite programar fechas concretas de entrevista y consulta con el fin de evitar desplazamientos innecesarios por la ciudad. Así mismo, en orden de mitigar el sentimiento de desconfianza hacia las instituciones y servicios de salud, se incorporó en la plataforma la “Comunidad CORPUS”; un espacio en donde usuarios del servicio pueden compartir experiencias e ideas creativas, hacer propuestas de diseño o apoyarse mutuamente, y en caso de ser necesario, funge como herramienta de presión hacia la empresa en caso de alguna inconformidad.

El proceso de fabricación logró ser reducido a un tiempo promedio de una semana. Esto es, a partir del momento en que se le realiza la medición antropométrica al usuario, hasta la entrega de la prótesis lista para ser probada por vez primera. Este ahorro de tiempo radica en la implementación de nuevas tecnologías al proceso convencional. La medición antropométrica, normalmente a base de moldes de yeso y mediciones manuales, llega a demorar hasta 4 horas, sin tomar en cuenta procesos posteriores.

Hacer uso de un escáner 3D como alternativa al proceso antes descrito permitió obtener resultados más precisos en tiempo menor a una hora. Y la introducción del Generador de Modelo Paramétrico simplifico el pos proceso de medición, elaboración de contramoldes y adaptaciones de diseño, a un lapso no mayor de 40 minutos. Tan sencillo como ajustar los parámetros manualmente deslizando manecillas.

Del total del proceso, la materialización de los componentes es la etapa que más demora, con tiempos de impresión 3D que van de las 4 hasta las 12 horas continuas por pieza. Sin embargo, la impresión total, de los componentes finales de este proyecto, necesito de la operación

continúa de dos equipos de impresión por apenas dos días, y sin necesidad de supervisión humana. Si se contemplan unos días extra para resolver cualquier eventualidad o reimprimir componentes defectuosos, una semana es el tiempo promedio requerido para la fabricación de una prótesis, con los procesos y tecnologías propuestas.

Es entendible, que se llegue a cuestionar la resistencia de los materiales plásticos empleados. Múltiples pruebas realizadas a lo largo de esta tesis pusieron de manifiesto que, efectivamente, una prótesis realizada en plástico mediante impresión 3D es poco menos resistente que las prótesis de gancho metálico, disponibles en el mercado, pero también demostró ser más ligera, cómoda y accesible. A diferencia de las prótesis comerciales, una impresa en 3D puede fácilmente sustituir componentes dañados sin afectar la economía del usuario tanto como

Lo antes dicho es importante porque a lo largo de esta investigación quedó de manifiesto el inadecuado servicio público de atención médica para personas con discapacidad. Entre el número de personas con necesidad de una prótesis y la capacidad de atención reportada por las instituciones encargadas de cubrir dicha necesidad hay una marcada disparidad, ya sea debido a la falta de presupuesto, burocracia o por la ineficiencia del proceso. Acudir al sector privado no mejora la situación, la falta de personal capacitado y regulación en el protocolo, aunado al elevado costo del servicio, es un caldo de cultivo para la insatisfacción del usuario.

Esto se agudiza con el contexto económico en que viven, dada la directa relación de la discapacidad con la obtención de ingresos significativamente menores al de la población general y al ser México un país con 43% de sus habitantes en situación de pobreza, según la Organización Mundial de la Salud y cifras del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) respectivamente.

Una constante durante la pesquisa fue, el abordaje tomado por varios desarrolladores de prótesis, mismo que, sacrifican el bienestar económico de la familia y reducen el segmento social beneficiado, en busca de satisfacer expectativas irreales de recuperar la función total del miembro amputado. El enfoque tradicional consiste en, diseñar prótesis que reemplazan la mayor cantidad posible de funciones, aprovechando nuevos desarrollos en robótica a expensas del costo que esto implica, no refiriéndonos exclusivamente a costos de desarrollo y adquisición, sino de mantenimiento. En ese orden de ideas, varias de las investigaciones llevadas a cabo en México, se sustentan en otras realizadas en otros países, sin reparar en las diferencias culturales, económicas, tecnológicas, educativas y demás, propias del contexto.

¿Por qué invertir recursos en un producto que pocos podrán adquirir o que podrían llegar a adquirir pero, no proporcionarle mantenimiento con la periodicidad requerida? ¿Por qué un padre de familia debe elegir entre invertir en una prótesis o en la educación de sus hijos?

Un sólo producto no solucionara la problemática de vivir con discapacidad en nuestro país, sino que, se debe abordar de manera integral; producto y servicio diseñado para y por el usuario.

Por todo lo anterior, se determina que los objetivos planteados al inicio de la investigación fueron alcanzados. Se completó el diseño de un sistema para la atención, y fabricación de prótesis, de personas con discapacidad en miembro superior que aprovecha la tecnología y el internet para integrar a los diferentes agentes responsables de la atención del discapacitado y optimizar el proceso de fabricación de prótesis.

La tesis de este proyecto demostró ser una alternativa real y compatible a la situación mexicana. La clave radica, en reconocer la prótesis como una herramienta y no como la solución definitiva de la discapacidad. Como se comentó al inicio, es muy pronto para conocer los efectos a largo plazo de estas tecnologías y procesos. Se espera que en el transcurso de los años se determine si existe alguna problemática relacionada con el uso de este tipo de soluciones, por el momento sólo la aceptación de los usuarios hacia sus nuevas circunstancias puede realmente mejorar su calidad de vida y las de sus familias.

Parafraseando las palabras de un entrevistado (Anexo A); Una prótesis es como usar calzado. No lo necesitamos, sin embargo, tenemos zapatos, tenis, zapatillas, chanclas, pantuflas y elegimos cual usar a nuestra conveniencia, si no nos sirve, buscamos otras opciones.

Bibliografía

Andreessen, M. (2011) Why Software is eating the World. The Wall Street Journal.

Asociación Mexicana de Inteligencia de Mercado y Opinión. (2017)¿Qué es NSE? Recuperado de <http://nse.amai.org>

Barouti H, Agnello M y Volckmann P. (1998). Amputaciones del miembro superior. Encycl Méd Chir. Kinésithérapie physique-Réadaptation. Paris. Elsevier

Benkler, Y., Nissenbaum, H.(2006). Commons-based Peer Production and Virtue. The Journal of Political Philosophy.

Cassaignau, A. (2015). Sculpteo Success Story: 3D printed medical tools for surgery. Sculpteo blog. 28 de octubre del 2015. Recuperado de <https://www.sculpteo.com/blog/2015/10/28/3d-printed-medical-tools-for-surgery/>

Design Thinking en español (2017). García, R. Recuperado de <http://designthinking.es>

Enabling the future a global network of passionate volunteers using 3d printing to give the world a „helping hand“. (2017). Recuperado de <http://enablingthefuture.org>

Fernández, O y Gonzales, A. (2000). Cirugía Radical en el Aparato Locomotor. En Cirugía: II cirugía ortopédica y traumatología. Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).

Hangerclinic. (2015). Recuperado de <http://www.hangerclinic.com>

- Hernández R, Fernández C y Baptista P. (2010). Metodología de la investigación. Quinta edición. McGraw-HILL/ Interamericana editores, S.A DE CV. México.
- Hijar, M. (2015). Epidemiología de las amputaciones. En E. Vázquez (Presidencia). Simposio Los amputados. Un reto para el Estado. Simposio llevado a cabo en Academia Nacional de Medicina.
- Horcajada, R. (2012). Apuntes generales de anatomía morfológica aplicada, Osteología. Curso 2011-2012. Facultad de Bellas Artes de San Fernando Universidad Complutense de Madrid.
- IDEOy Bill and Melinda Gates Foundation. (2011) Human Centered Design Toolkit. Recuperado de <http://www.designkit.org/human-centered-design>
- ISO 8549-1:1989. (1989). Prosthetics and orthotics -- Vocabulary -- Part 1: General terms for external limb prostheses and external orthoses. International Organization for Standardization (ISO).
- Keeley L, Pikkell R, Quinn B y Walters H. (2013). Ten Types of Innovation: The Discipline of Building Breakthroughs. Wiley.
- Kumar, V. (2012). 101 Design Methods: A structured Approach for Driving Innovation in Your Organization. Wiley y sons. New York, EE, UU.
- Lipson, H y Kurman, M. (2013). Fabricated; the new world of 3D printing. John Wiley y sons. New York, EE,UU.
- MakerBot. (2013). Mechanical hands from a Makerbot: the magic of Robohand. Recuperado de <http://blog.make-a-tronik.com/?zknqetVd>

MDS Presentation. (2008). Recuperado de: www.polidesign.net/MDS

Not Impossible Labs produce la primera prótesis realizada con impresión 3D. (2014). Experimenta Magazine. Recuperado de <http://www.experimenta.es/noticias/industrial/proyecto-daniel-4162/>

Organización Mundial de la Salud [OMS] y el Banco Mundial [BM] (2011). Informe Mundial sobre la Discapacidad. Ediciones de la OMS.

OCDE. (2014). Estadística de la OCDE sobre la salud. Recuperado de <http://www.oecd.org/mexico/>

ParametricCamp. (2017). ¿Qué es el diseño paramétrico?. Recuperado de <http://www.parametriccamp.com/%C2%BFque-es-el-diseno-parametrico/>

Real Academia Española. (2014). En Diccionario de la lengua española 23.a ed. Recuperado de <http://dle.rae.es/?id=DrrD8s5>

Robohand, una gran iniciativa. (2013). Mundomaker. Recuperado de <http://www.mundomaker.com/impresion-3d/robohand/>

Rojas, X. (2015). Impacto social de las prótesis para amputados. En E. Vázquez (Presidencia). Simposio Los amputados. Un reto para el Estado. Simposio llevado a cabo en Academia Nacional de Medicina.

Root, W. (2014) Exo Prosthetic Leg. Behance. Recuperado de <https://www.behance.net/gallery/20696469/exo-prosthetic-leg>

- Ruiz, L. (2015). Manejo de los amputados ayer y hoy. En E. Vázquez (Presidencia). Simposio Los amputados. Un reto para el Estado. Simposio llevado a cabo en Academia Nacional de Medicina.
- Sánchez, S. (Reportero). (2015) Piernas y brazos sin medida. [Reportaje televisivo]. Ciudad de México: Noticieros Televisa.
- Smith, Douglas, G (2007). Introducción a la prótesis de extremidad superior. Primera parte. InMotion, 17(2), 2-3.
- Stone Z. (2013). A Tiny, Living 3-D Printed Kidney Is Growing in China, Co. Exist, Recuperado de <http://www.fastcoexist.com/3016074/a-tiny-living-3-d-printed-kidney-is-growing-in-china>
- TED talks (2011). Anthony Átala: imprimiendo un riñón humano. Recuperado de <https://www.ted.com/talks>
- TEDxTalks. (2014). Life enhancing prosthetics - 3D printed and open sourced: Ivan Owen. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=peoZJRtnPiA>
- Vázquez, E. (2015). Rehabilitación integral de los amputados un reto para el estado. En E. Vázquez (Presidencia). Simposio Los amputados. Un reto para el Estado. Simposio llevado a cabo en Academia Nacional de Medicina.
- Warner, J. (2013). Vivir con una Vejiga Artificial. Chemmatters. Recuperado de <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/resources/highschool/chemmatters/spanishtranslations/chemmatters-april2013-bladder-spanish.pdf>
- World Health Organization. (2017). WHO Quality of Life-BREF (WHOQOL-BREF). Recuperado de <http://www.who.int/>

Ilustraciones

Digital Resource Foundation for the Orthotics y Prosthetics Community. (1960).
Elbow lock control cable. [Ilustración] Recuperado de
<http://www.oandplibrary.org>

3DVisual. (2014) Deposición por extrusión. [Ilustración] Recuperado de
<http://totalprototipo.com>

Design Thinking en español (2017). García, R. [Ilustración] Recuperado de
<http://designthinking.es>

Keeley L, Pikkel R, Quinn B y Walters H. (2013). Ten Types of Innovation: The
Discipline of Building Breakthroughs. Wiley. [Ilustración] Reconstrucción de
tabla recuperada de <https://www.doblin.com/ten-types>

Sculpteo. (2009). Medical devices: create made to measure products for your
patients. [Ilustración] Recuperado de
<https://www.sculpteo.com/en/applications/medical/>

Mcor technologies. (2013). Belgium Doctors Use Paper-Based 3D Printing to
Reduce Surgical Times. [Ilustración]. Recuperado de
<http://www.mcor technologies.com/>

Wake Forest School of Medicine. (2013). Bladder Scaffold and 3D Printed Ear
Scaffolds. [Ilustración]. Recuperado de <http://www.wakehealth.edu/WFIRM/>

Anexos

Anexo A

Transcripción de Videograbación: Primera entrevista con usuario 01.

Entrevistador: Eugenio Ricardez
Entrevistador 2: Lizette Correro
Entrevistado: Javier Morales
Conyugue: Enedelia Guzmán
Lugar: Estudio de Diseño e Innovación Huella Cero
Ciudad de México,
24 de agosto del 2017

Entrevista donde habla acerca de sus inconformidades con sus prótesis y su experiencia buscando oportunidades y apoyo fuera del seguro social.

Entrevistado: A mí se me entierra aquí de los huesitos (señala su codo) y me pellizca pero me pellizca así que me pone rojo, mira aquí ya lo tengo rojo.

Entrevistador: ¿Cómo dice que es el arnés?

Entrevistado: Es un socket con un arnesito, entonces yo cuando muevo mi brazo el arnés se aprieta y hace que el ganchito abra, pero cuando yo me apoyo más en él, me pellizca, me jala mi piel y me molesta. Aparte esto de aquí (muestra el muñón) como no es recto sino que es como cónico, cuando yo hago el brazo así (extiende el brazo), a mí esto de aquí siento que me corta, que me arranca algo. Me duele, es un dolor que no aguanto. Ahora yo he soportado con ella hasta 8 horas pero nada más llevo a mi casa y me la tengo que quitar. Pero si, yo soldó, yo corto madera, yo trato de hacer otra vez mis actividades, me cuesta trabajo y ahora le pido ayuda a mi esposa. Por decir, cuando voy a soldar me amarro el cable del transformador y pego el electrodo a mi estómago y así soldó, con mi costilla pues...

Entrevistador: ¿Qué tipo de soldadura utiliza?

Entrevistado: Eléctrica de arco, de las de electrodo normal. Y ya viendo yo mis posibilidades... mira te voy a ser sincero, te hablare con la verdad, no sé si conoce a Edgar V pues yo estoy en un programa con él, yo buscando la ayuda...

Conyugue: Tocamos muchas puertas...

Entrevistado: Te voy a decir porque tocamos muchas puertas, yo sé que tengo que hacer mis actividades, volver a empezar con mano o sin mano yo tengo que ganarme un peso. A mí me pensionaron pero mi pensión es muy baja, así que yo buscando la manera de poder obtener algo pues, anduve tocando puertas. Inclusive en una ocasión fui a Guadalajara buscando una manita, me ofrecieron

una manita de como treinta tantos mil pesos, pero nada más era una mano como de este material de látex pero fija, o sea no... No se parecía ni a mi mano, era una mano rígida que nada más debía traer ahí, o sea rígido. Entonces pues tuve que pagar mi viaje a Guadalajara, estuve veintitantas horas por allá, o sea se me hizo muy poca cosa para el costo, no se me hizo viable, entonces estuvimos tocando puertas hasta que un señor de Oaxaca nos dijo que una persona acá en la ciudad de México se dedicaba a hacer manos y nos mandó con el tal Edgar V pero no nos quiso recibir qué porque tenía una demanda con este señor que le había ganado su proyecto, o sea hubo conflictos. Entonces, en mi desesperación yo quería algo que me ayudara a mí, y anduvimos tocando puertas. Fuimos a Robohand que en un principio nos envió una publicación pero ya no nos respondieron luego. Luego fuimos a un lugar allá por Polanco que también se dedican a esto, pero nos dijeron que era cuestión de espera y que si nos podían ayudar pero que de momento no tenían las impresoras, y yo le dije, yo sé que tú te dedicas a hacer esto y por eso vine a tocarte la puerta, pero pues al final no nos entendimos. Y entonces con Edgar V que al principio no nos quiso atender paso un tiempo y a los 3 meses me habla y me dice - sabes que , si realmente quieres que yo te ayude y realmente quieres venir a verme pues te doy cita - , y pues ya nos citó y nos dijo que él hace manos mioeléctricas y que llevan cables y sensores, y ya después pues fuimos y por la cantidad de dinero que nos habló yo le dije que a mí me era imposible comprar lo que el vendía, él me hablaba de prótesis de 36, 40, 70 mil pesos. Entonces le dije - sabes que, no para mi es imposible pagarte una mano así, yo venía buscando una mano de hilos, no sé qué me ayude a agarrar mi suéter, agarrar mi cuchara - ...

Conyugue: y que sea práctica, que no sea pesada...

Entrevistado: Si, porque a mí la de gancho me pesa...

Entrevistador 2: Yo creo que la de gancho que le apreta yo creo que es un error a la hora de hacer el molde, ¿no? Porque esas prótesis son muy buenas o sea no son para nada estéticas pero son muy rígidas, son muy útiles para trabajo, alcanzan a soportar mucho peso, pero generalmente se acoplan bien, el problema es que se hacen sobre medida, no sé si por ejemplo usted ha aumentado de peso desde que le sacaron el molde.

Conyugue: Es que le ha bajado su masa muscular, porque si ha bajado de peso eso pienso.

Entrevistador: Ok, por eso le queda como más flojita.

Entrevistador 2: Si le queda floja podemos darles un poco de plástico, ¿no?

Entrevistador: ¿Usted usa calcetín en su muñón?

Entrevistado: Si

Entrevistador: ¿Cuántos?

Entrevistado: Para que me resbale, uno.

Entrevistador: Tiene que usar, si usted baja de peso o su masa muscular disminuye, tiene que empezar a ponerse más calcetines

Entrevistado: Que crees que yo manejo 3 calcetines. Tengo uno delgado que es el que me queda perfecto, tengo uno más grueso e inclusive yo ahorita, le digo a mi esposa yo no usaba medias pero ahora hasta tengo que comprarme medias para ponerme mi prótesis. La media me queda perfecta pero me suda mucho la mano. Hay un calcetín americano que viene así como más acolchonado. Bueno hay de diferentes tipos, yo manejo 3, el delgado, el gruesito y uno más como aterciopelado entonces cuando yo ya me quiero meter mi prótesis ya no me cabe, ya no me entra, con ese calcetín grueso. Entonces ya siento que me lastima más esto de aquí (señala su codo) de por sí estoy huesudo y ya con el material rígido cuando muevo mi brazo o lo estiro, siento dolor y tengo que jalar mi brazo para que no me lastime. Inclusive hay veces que estoy queriendo agarrar algo y yo trabajo bien, yo no domino a la perfección el gancho pero ya trabajo con él, entonces cuando quiero agarrar algo que me quede cómodo, hasta se me traba mi nervio, se me encoge mi nervio, como que se me amarra y tengo que regresar el brazo muy rápido porque es un dolor aquí en esta parte del codo, haz de cuenta en mi musculo, como que se me traba... Haz de cuenta yo hago esto (mueve el muñón) haz de cuenta que sientes como que te quema el nervio y tengo que estirar el brazo para que deje de doler.

Entrevistado: Bueno como te decía, yo estoy en un programa con Edgar V, yo no les quiero mentir, yo quiero que sepan que le toque la puerta, me atendió y me dijo que él hacia manos pero sus manos son caras y entonces le dije - sabes que yo la verdad sinceramente vine por una de hilo, yo no tengo dinero para pagarte una mano de esa cantidad - , entonces le digo - me quede sin trabajo, vivo de mi pensión pero mi pensión no me alcanza, entonces yo ahorita lo que quiero es poder tener algo para que yo siga generando trabajo a lo mejor por mi cuenta, no sé, hacer algo - . Yo ahorita he trabajado con metal y con madera yo le hable con la verdad a él y me dijo que pues, que él lo más que me podía hacer era una de 17 mil pesos o algo así, entonces yo le dije - sabes que la verdad sinceramente no - , entonces entre en un programa con él, en el que iba a pedir la ayuda a su asociación...

Conyugue: Él está juntando con otros para costearnos parte de este proyecto, ¿qué es lo que nosotros no queremos? Que nos vean como abusivos, ¿no? Ahora si yo siento que una prótesis es como un par de zapatos, yo siento que cuando me compro unos zapatos me quedaron bien luego me compre estos otros y no, me apretaron y no me quedaron. Entonces ahorita lo que yo le decía a él, es que yo no quiero que nos vean como abusivos, como encajosos, estamos esperando nosotros a Edgar, obviamente él no va a juntar el dinero de la noche a la mañana, nosotros confiamos en que si nos ayude y nos entregue el proyecto, él nos habla de una mano muy bonita que se va a manejar con sensores, pienso yo por lo poco que entiendo de esto, que es como que apenas la está diseñando y va a mejorarlo sobre proceso.

Entonces hemos dado poco a poco dinero que pudimos ir juntando, ahorita ya nada más estamos en espera de que si nos la entreguen o no nos la entreguen, él nos manda una fecha después nos dijo que no, que otra fecha y pues...

Entrevistador: ¿Ustedes ya le pagaron algo?

Conyugue: Si, si le dimos 8 mil pesos...

Entrevistado: De hecho la atención ha sido buena de parte de él, así como ustedes nos reciben, de él ha sido buena la atención, pero hasta ahorita a mí no me ha entregado nada, o sea me cita para ponerme sensores.

Conyugue: Escanea su mano...

Entrevistado: Él me pone los chuponcitos aquí (señala su muñón), me hace hacer ejercicios con mi mano y supuestamente está haciendo algo con mis nervios, está viendo lo que yo puedo hacer, yo puedo señalar yo puedo abrir y supuestamente con una tarjeta se va a manejar todo pero hasta ahorita hasta ahorita no me ha dado nada...

Conyugue: No tenemos nada

Entrevistador: ¿Cuánto tiempo llevan esperando?

Conyugue: Hace año y medio...

Entrevistado: Quizá dos años...

Entrevistador: Y el dinero ¿cuándo se lo dieron?

Conyugue: Hace un año...

Entrevistado: Casi un año que empezamos a llevar el proyecto con él, o sea desde la primera cita él me dijo - bueno yo ya voy a empezar a trabajar contigo - y yo le dije - pero no, dime que me vas a hacer - y me dijo que no, que ya me lo estaba haciendo... Me empezó a escanear mi mano, me hizo hacer varios ejercicios... pero nunca hablamos de cuanto iba a ser al final porque después en una ocasión como que ya no me pareció, porque en una ocasión llegamos y me dijo - ¿sabes qué?, tu mano va a salir en tanto - porque ya supuestamente ya era mano biónica dijo... y que ya iba a ser una mano biónica con un brazalete que iba a mandar de la espina al nervio y ya después me manejo una cantidad de que me vas a tener que estar dando 3 mil pesos por mes. Y yo le dije - perame, en ningún momento yo te dije, sabes desde que yo llegue te dije que no tenía como pagarte una mano biónica, O sea pues vamos a ser sinceros, ¿no? Quedamos en algo y yo estoy de la mejor manera si me lo puedes hacer bien y si no, no hay ningún problema, aquí le paramos y no pasa nada porque yo no te la voy a poder pagar. Yo solo gano lo que me dan en el seguro, 3 mil y feria es demasiado dinero para pagar. Si me dices que yo te tengo que dar 3 mil pesos al mes, me voy a quedar sin nada -.

Conyugue: Entonces él nos ofreció entrar en este programa, que la verdad no recuerdo el nombre pero el da cursos a gente como ustedes que se dedica a algo así como de electromecánica, mecatrónica... El da los cursos y de ahí cierta cantidad destina para poder subsidiar la mano, yo pienso que si la verdad no sé cómo lo maneje, entonces la vez pasada fuimos con un grupo de persona y dijeron que como que ellos iban a solventar su prótesis, ahorita estamos nosotros en esa espera. De que si se sea así o no sea así pero por el momento no tenemos nada... o sea estamos igual.

Entrevistador: Y esta espera ¿cuánto llevan ustedes, un año?

Conyugue: Es que mire, es lo que decía yo entiendo que haga de cuenta “mira te voy a vender esta prótesis” pero por sus investigaciones a lo mejor nos diga - sabes que, ya no te voy a dar esta, déjame le voy a poner una parchecito más que te quede mejor - entonces lleva otro tiempo, así yo lo entiendo... este... entonces ahorita la cita la teníamos en julio pero nos la cancelo porque creo que se cambió de lugar, creo que está creciendo por lo que yo veo va creciendo entonces se cambió de lugar y nos mandó un correo pidiéndonos un poco más de tiempo, pero volvemos a lo mismo, no tenemos nada...

Entrevistador 2: ¿No les ha mostrado alguna prótesis?

Conyugue: Si, o sea nos dice, mira va a ser esta...

Entrevistador 2: ¿Les ha mostrado ejemplo pero no la suya hasta el momento?

Conyugue: Así es.

Entrevistador 2: No les ha probado nada...

Conyugue: Así es, llega y me dice, mira yo te voy a dar esta, pero no está... Entonces yo no quiero que si dios quiere, y nos la da, que diga - ¿sabes qué? tú ya te fuiste por allá, así que ya no te la voy a dar -, ¿si me entiende? Nosotros ese era el miedo que tenemos, entonces yo tampoco quiero que si él le va a dar la mano a mi esposo, ustedes en cierto momento digan, es que no dijo nada o sea... nos daría pena...

--- Fin del video ---

Anexo B

Transcripción de Videograbación: Primera entrevista con usuario 01.

Entrevistador: Eugenio Ricardez

Entrevistado: Javier Morales

Conyugue: Enedelia Guzmán

Lugar: Estudio de Diseño e Innovación Huella Cero

Ciudad de México,

24 de agosto del 2017

Entrevista sobre su experiencia para obtención de por parte del seguro social.

Entrevistado: Nos mandan a personal del DIF para estudiar nuestro caso, entonces nos decían que no había presupuesto, bueno que si lo había, pero que para no entrar en detalles nos iban a mandar a un particular a hacérmela (la prótesis). Pero ahí con el particular fue igual, la espera, y el trato no fue agradable, porque en el primer momento que yo llegué me dijeron que sí que iban a hacer mi mano, que bienvenido, pero fue esperar, esperar y esperar, me daban fecha por decir un martes y no me podía atender porque decía que tenía gente y me tenía que regresar.

Entrevistador: ¿No podían atenderlo para tomarle las medidas o solo entrevistarlo?

Entrevistado: Para verme, para ver qué era lo que me iba a hacer.

Entrevistador: Ese día que le vieron, cuando por fin le atendieron, ¿le tomaron las medidas?

Entrevistado: Si.

Entrevistador: Entonces, ¿Cuántos días le tuvieron en espera?

Entrevistado: Fui la primera vez... y luego me citaron a los ocho días y luego me citaron a los quince días. Tres veces me hicieron ir para que me tomaran las medidas.

Entrevistador: Tres veces, entre que no lo podían atender y entre que si...

Entrevistado: Cuando me pudieron atender, fue cuando me tomaron las medidas y ya que me tomó las medidas me dijo que me hablaba en un par de semanas, pero fueron como tres meses de espera, si no es que más.

Entrevistador: ¿Tres meses de espera sin avisarles nada?

Entrevistado: Nada, ellos me dijeron que me iban a hablar pero como nosotros ya le habíamos dado dinero, supuestamente para agilizar nuestro proceso de prótesis, me hablaba la señorita del DIF para ver si ya me habían entregado mi mano, yo le decía que no, que a mí no me habían entregado nada. Ella

decía que ya era mucho tiempo, que no me preocupara, que ellos iban a insistir. Y después me habló fácil como unas seis veces a la casa.

Entrevistador: ¿Usted no tenía contacto con el protesista? ¿Era la señorita la que solía llamar?

Entrevistado: Si teníamos contacto con él, pero nunca me habló. Yo tenía su tarjeta, pero hasta que la señorita me dijo - usted presiónelo, dígame que necesita su mano- fue cuando yo le empecé a hablar y me decía que no, que de momento no la tenía pero que en cuanto tuviera ya la prótesis me iba a hablar.

Conyugue: Lo que pasa es que este señor le iba a pagar el seguro, esa es la parte que yo entendí, entonces él estaba en el proceso, deduzco yo que hasta que no le liberara su pago el seguro social él no podía hacerle su prótesis a Javier.

Entrevistador: ¿Les explicó esto en alguna parte del proceso?

Entrevistado: No, pero así lo entendimos nosotros.

Entrevistador: Ok, estuvieron en incertidumbre.

Entrevistado: Si, así es.

Entrevistador: Ok, entonces ya pasaron los tres meses, cuando les llamaron ¿qué pasó?

Entrevistado: Me hablan y me dicen que ya tienen mi prótesis, pero así como me entregó mi prótesis, hazte cuenta que me la armó, me la quise probar pero me entraba muy a fuerzas y así ya me la armó, me hizo el arnés...

Entrevistador: ¿Ya era la prótesis final?

Entrevistado: Ajá.

Entrevistador: Y.. ¿le quedaba bien, no?

Entrevistado: No me quedaba bien. Me dijo ahí está tu prótesis, trata de abrir el gancho, pero yo nunca lo pude abrir porque por más que forcé mi mano a mí se me enterraba (el socket) y nunca logré abrir el gancho. Entonces le quitó una liga y ya con dos ligas fue cuando la pude abrir, pero tenía que forzar mucho para poderla abrir. El siguiente paso fue que yo le dije que me molestaba aquí de mis huesitos de mi codo y me dijo que iba a rebajarle, que me esperará, que no me fuera, que le iba a rebajar (al socket). Me saca de su laboratorio, espero en la sala de espera y me vuelve a hablar y ya le había rebajado lo que me había dicho, como un circulito aquí (señala la parte interior de su brazo, a la altura del codo), pero a mí se me seguía enterrando, me lastimaba, tantito quería yo abrir el gancho me lastimaba. Entonces le dije que no, que a mí eso no me había quedado, me molestaba mucho y me dijo que eso es lo que él podía hacer, que fuera a mis terapias y que si sentía alguna molestia que regresara con él. Pero yo sentí que no, ya no le quería hacer nada, le dije que muchísimas gracias, me fui a mis terapias allí me

decían que si me molestaba que fuera otra vez hasta que me la dejen bien. Entonces fui otra vez a ver al señor este, pero ya le vi así como que ya no me quería atender, y le dije al doctor - sabe que, prácticamente a mi ese socket que me hizo no me sirvió -, yo lo deseché inmediatamente porque me lastimaba. Yo me quedé con el socket que yo me había mandado hacer por afuera del seguro, el que yo tuve que pagar.

Entrevistador: ¿En cuanto le salió?

Entrevistado: 5,000 pesos.

Conyugue: Pero es que fue como de reusó. Si porque una chica nos hizo el favor de conseguirnos un socket de rehusó.

Entrevistado: Inclusive aquí en el mantenimiento me dijeron que hasta que se me desbarate la mano no me iban a hacer otra. Inclusive la doctora que me atendió ahí en la clínica 32, que fue la que me mandó directamente a que me dieran una prótesis, esa es la que hizo un papel para que me dieran la prótesis. Ella me dijo que al año que yo fuera por mi gancho, que me entregaban mi gancho , que ya cuando cumpliera el año con el gancho que ella podía mandarme hacer una mano como la que tengo ahora (terminal con forma de mano humana de látex). Le dije que sí, pero hasta ahora nada.

Conyugue: Al DIF nosotros estuvimos hablando porque le dijimos que nosotros necesitábamos una prótesis, pero nosotros vivimos en el Estado, entonces a mí me dicen que si se la podrían dar pero tendría que ser nacido en el Distrito, y como no es nacido en el distrito y no le darán su prótesis.

Entrevistador: ¿Eso es porque era un programa del Distrito Federal?

Conyugue: Ajá, es un programa del Distrito Federal pero tenía que ser nacido en el Distrito, no vivir, haber nacido en el Distrito.

Entrevistado: Igualmente nos pasó con el seguro porque en el Distrito si había presupuesto y en el Estado no había presupuesto.

Conyugue: Entonces fue cuando una persona me dio el teléfono del DIF y fue que yo hablé , entonces fue ya que ... debo de tener ahí los correos perdidos, entonces fue que me preguntaron si él tenía seguro, entonces que a él le correspondía por ley su prótesis, entonces que se la tenían que dar y ahí en esta parte fue donde ellos nos ayudaron a agilizar un poco el tramite porque conocimos gente que tenía bastante tiempo sin prótesis y aparte pues yo siento que es cansarte para no darles nada porque es vueltas y vueltas y vueltas, entonces esta señorita, no recuerdo su nombre, es la que nos estuvo ayudando para agilizar ese trámite.

Entrevistador: ¿Dice que ella contactó con ustedes?

Conyugue: Ajá, bueno, yo mandé correos al DIF, ya después ella se comunicaba con nosotros por teléfono.

Entrevistador: ¿No han tenido contacto con ella recientemente?

Conyugue: No, ya no, ya cuando le entregaron su prótesis...

Entrevistado: En cuanto me entregaron la prótesis ella me volvió a hablar y me dijo que si ya me habían hecho mi entrega y yo le dije que sí, que ya me la habían entregado y me dice perfecto Señor Javier , entonces aquí ya terminamos nuestra labor, le deseamos mucha suerte y ojala la pueda hacer funcionar.

Conyugue: Ahí sí, fue muy buena. Mira que yo me sorprendí porque cuando habló dijo que hablaba de parte de la esposa del presidente, entonces yo me quedé sorprendida, pero esta persona si nos ayudó bastante.

Entrevistado: La que nos atendía si recuerdo bien su nombre, se llamaba Julia (censurado), era la que nos hablaba para ver si ya estaba la prótesis, no sé si le habían encomendado a ella que estuviera al pendiente de que si ya me la habían entregado o que agilizara el trámite.

Entrevistador: Pero eso es lo raro, quien encomendó, ¿no?

Conyugue: Si, nunca tuvimos el gusto de conocerla pero ella si se comunicaba, ella fue la que presionó y hablo por teléfono, nos hablaba - ¿no han traído nada?, espéreme hago una llamada - y a los pocos minutos ella hablaba - le van a hablar del seguro social - y ella fue la que nos orientó incluso le mandé correo de los documentos del seguro, los escaneamos y ella fue la que estuvo al pendiente. Entonces si así con ella que nos estuvo ayudando fue tardado, no quiero pensar las otras personas que están esperando su prótesis.

Entrevistado: Me encontré con un señor ahí donde se hacen las prótesis en la unidad Cuauhtémoc, él estaba en espera de que le hicieran algo también. En la fábrica donde trabajaba le cayó la máquina en la mano, pero que nada más le sacudió la mano, entonces el señor tenía su mano pero no tenía fuerza. Entonces este muchacho estaba ahí por una prótesis porque le habían mandado, entonces este señor estaba exigiendo que le hicieran algo, entonces que le iban a poner una órtesis y entonces el señor estaba en el seguro porque su empresa ya no se quiso hacer responsable de él, y pues él quería que le hicieran algo, dice que llevaba 9 meses yendo ahí para ver que le hicieran algo, y pues ya llevaba mucho tiempo y yo pensaba, entonces ¿cuánto se van a tardar conmigo?

Entonces ya cuando paso a la dirección de donde hacen la prótesis, que es en el piso de arriba, me entrevisto con la directora de ahí y me dice – sabe que, ahora no hay presupuesto para su prótesis, tiene que ir al edificio del Sara Lee donde están supuestamente el dinero para las prótesis y meta su queja con ellos - . Y yo le dije - oiga que a mí me están mandando con usted - . Y decía - Si pero nosotros no tenemos presupuesto tiene que ir a tal lado. Y no es el único - . Y me saca una lista de gente que está

esperando prótesis y era una lista enorme. Entonces dije pues no soy el único y fuimos al edificio del Sara Lee. Ahí hablamos con el licenciado de edificio que lleva las prótesis, que es el que da el dinero y me dice que no hay ninguna problema que él me va a atender, le deje los papeles y empezó a repartir la información, primero me mando a ver el proceso de mi pensión, muy amable el director de pensiones me dijo que no me preocupara que él se iba a asegurar que me dieran lo que me correspondía y en un lapso de 3 meses iba a cobrar. Y antes de los 3 meses ya estaba cobrando el seguro.

E inclusive cuando yo seguía peleando mi prótesis, volvimos a ir al edificio del Sara Lee porque no había quien me entregara una prótesis 3 meses después y fue ahí cuando nos mandaron con un particular. El licenciado nos dijo, a ver déjame ver con este cuate y hablo con otro licenciado para decirnos que no nos iban a mandar a la unidad Cuauhtémoc, sino con un particular, pero pues fue por suerte que llegue con él, que los manejaba a todos.

El señor fue muy amable nos dio su teléfono particular y que cualquier cosa que se necesitara él nos iba a hablar. Porque la orden primero llega a la delegación, luego llega a la unidad médica en la que te atienden y luego ya llega a tu doctor que te avisa que puedes pasar para realizar tu trámite. Es un batallar y yo creo que mucha gente como que se desespera de que la traen mucho tiempo esperando. Y luego ya cuando empezaba el proceso de pensión solo faltaba papeleo y el seguro me estaba mandando a trabajar...

Conyugue: Es que ese es otro punto, a él le dan una pensión por discapacidad parcial, entonces legalmente para el seguro él todavía puede trabajar porque tiene su otra mano.

Entrevistador: ¿Y la empresa estuvo de acuerdo?

Conyugue: La empresa de momento le dijo que sí, pero ya cuando tuvo el alta en sus manos y se presentó a trabajar la empresa decidió liquidarlo, entonces para el seguro social él todavía tenía que trabajar pero la empresa no estuvo de acuerdo.

Anexo C

Declaración escrita: Cronología de experiencia para obtención de prótesis en dependencia de gobierno.

- 1: Accidente ocurre a Magdalena de las Salinas ahí estuvimos ~~ya~~ Miércoles, el jueves por la tarde la amputación salimos el día lunes nos dan de alta médica. con cita en cinco días ahí la empresa lo entrevista para llenar el formulario.
- 2: Acudir a la cita para calificar el accidente por el departamento del trabajo.
- 3: Cita médico familiar para la terapia de ~~rehabilitación~~ rehabilitación para adaptación del miembro con ejercicios y lograr la desaparición del miembro fantasma, duración de 10 sesiones por un tiempo aproximado de 2 1/2 meses.
- 4: de ahí nos dieron de alta y lo mandaron a trabajar nos encontramos con que ~~tenía~~ tenía prótesis y solamente con 2 1/2 de rehabilitación eran suficientes para trabajar.
- 5: Cuando termina su incapacidad toma sus vacaciones para poder adaptarse, llama al DIF, para agilizar el trámite de prótesis, ~~el~~ el trámite de prótesis es muy tardado, no hay presupuesto para el estado, pero gracias al DIF fue un poco más rápido, cuando ~~se~~ ~~se~~
- 6: Cuando se presenta a trabajar no la reciben, y empieza el problema laboral acudimos a ~~la~~ ~~la~~ ~~la~~ los problemas laborales y secretaria del trabajo, ~~los~~ los problemas laborales y por parte del Seguro Social fue muy agobiante.
- 7 En Noviembre acudimos a Unidad Cuahotemac con la orden de prótesis y no nos reciben la orden. nos citan en Diciembre y nuevamente nos regresan. acudimos a edificio de Saratí, donde nos dicen que van a agilizar la prótesis pasan unos dos meses. ahí fue donde interviene el DIF. y nos dan cita por el mes de abril. pero ahí hay que hacer nuevamente el papelito para que sea reciente. acude con los documentos

Peccentes y toman medidas, para hacer el socket
pasar como otro mes y nos llama D.F. si ya tenia
su mano y como aun no teniamos nada llaman a
a los pocos dias nuevamente. nos llama el protesista
para la entrega, pero acude unas tres veces mas
para que por fin se la entregan pero
aun asi es muy incmoda, cuando obtene por
fin la protesis paramos a nuevament a Rehabilitación
para adaptación de protesis, que fueron diez
sesiones mas cuando termina este proceso lo dan
de alta total

Durante los meses de Diciembre a enero febrero
escribimos a muchos lados para poder obtener una
protesis. obtuvimos la primera fue la de una mano
una esperanza, es durante este periodo cuando nos
damos cuenta q una protesis es muy muy costosa
y aparte de costosa incmoda obtuvimos por buscar
ayuda para imprimir una en 3D pero aqui en
mexico aun era muy poco accesible pocos lugares
lo hacian acudimos a huella pero buscando imprimir
una mano, tambien con gino tuvaro, con Edgar U. Nareal
pero de y nuevamente al D.F. donde nos dicen que
si viviera en el D.F. se nos darian una protesis.
pero como no viviamos en el D.F. tampoco obtuvimos nada.

26-Julio-2017

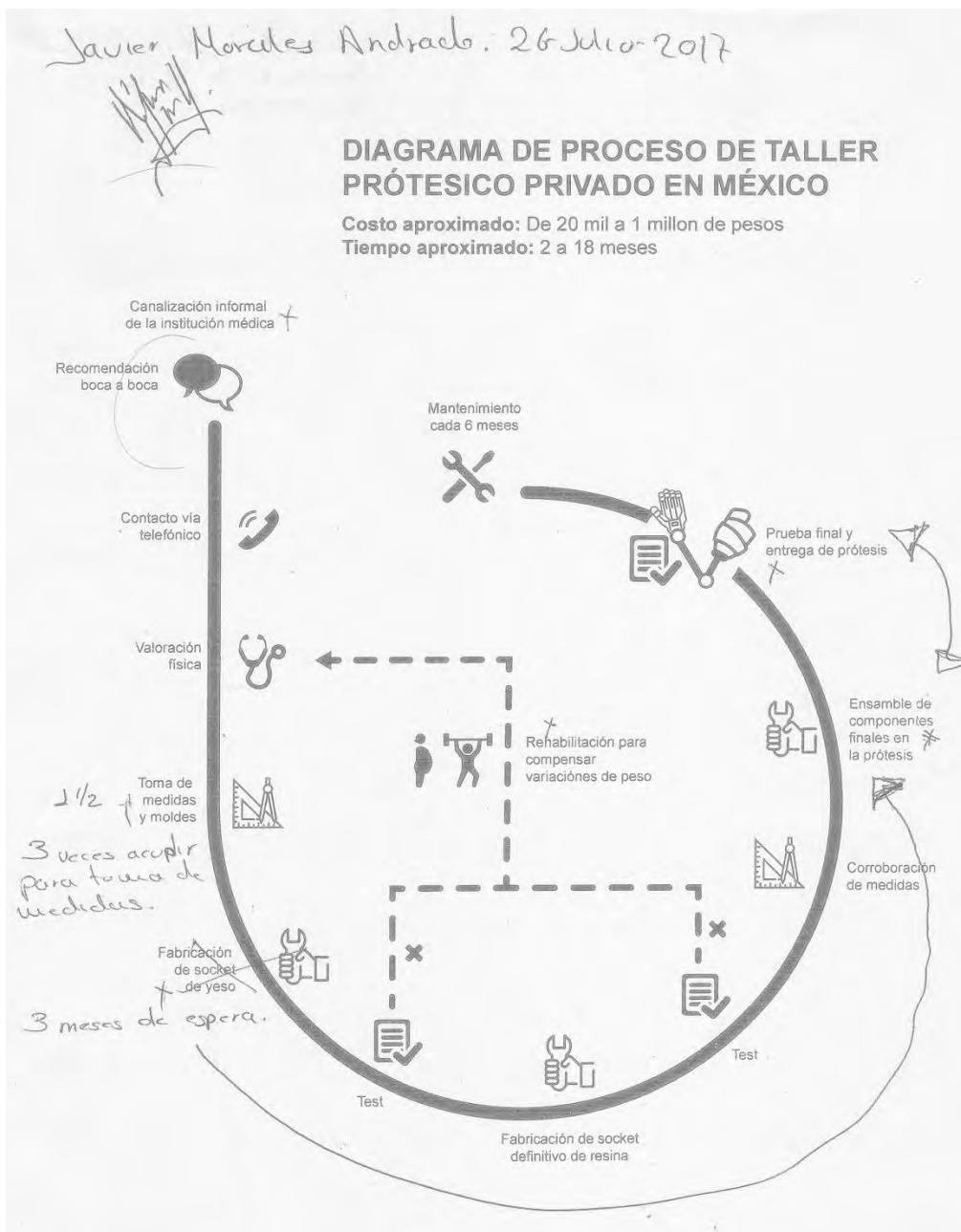
Javier Morales Aneluek



Anexo D

Herramienta gráfica: Determinación de momentos experimentados por usuario dentro del proceso de fabricación de prótesis.

El siguiente diagrama representa el proceso ideal para la elaboración de prótesis, se le pidió al usuario que seleccionara aquellos momentos dentro del diagrama por los que fue parte o tuvo conocimiento.



Anexo E

Transcripción de Videograbación: Entrevista de satisfacción usuario 01

Entrevistador: Eugenio Ricardez

Entrevistado: Sujeto 01

Lugar: Estudio de Diseño e Innovación Huella Cero

Ciudad de México,

24 de agosto del 2017

Entrevista realizada tras concluir un periodo de 3 semanas de prueba con el usuario y la prótesis antes de los ajustes finales en el diseño.

Entrevistador: Hábleme de su experiencia con la prótesis, empecemos por las ventajas.

Entrevistado: Me gusta la mano, lo ligera que es, no pesa. Es muy cómoda, muy fácil de poner, inmediatamente, así como me la quito me la pongo, no me cuesta nada de trabajo y ajusta perfectamente a mi brazo.

El único detalle que yo le veo...

Entrevistador: Por ahora quedémonos con las ventajas y en un momento pasaremos a las desventajas para ir en orden, ¿de acuerdo?

Entrevistado: Pues me acomoda bien para agarrar mis cosas y abre perfectamente bien. Ya he empezado a trabajar con ella al grado de agarrar mis tablas (de madera), de poder agarrar mi router (herramienta) y pues la siento muy cómoda. Igual me quedo a la medida de mi mano, es cómoda y muy ligera.

Entrevistador: En la calle ¿cuál ha sido su experiencia con la gente?

Entrevistado: Pues sí, voltean a verme la mano y como que se sorprenden pero pues para mí es algo normal, para mí es mi mano y sinceramente lo que la gente diga no me interesa. Muchos niños dicen - ¡ay! Mira como tiene su mano -. De momento así como que ¡Ay! Este... pero pues para mí es mi mano y es algo normal. La gente siempre va a decir cosas, pero no me interesa. Si se sorprenden cuando me ven, ¡mucha gente!, pero no me dicen nada y la verdad no tiene por qué decirme nada, se sorprenden pero nada más. Para mí pues es mi mano, ahora sé que es una herramienta que traigo puesta.

Entrevistador: Ok, ahora sí, hablemos de las desventajas.

Entrevista: Las desventajas pues, ligeramente me molesta esta pieza de aquí (señala el borde del brazalete en su brazo), me gustaría que pudiéramos moverla un poquito más para arriba para que no me lastimara el codo, por el momento se me entierra. Me lo tengo que estar subiendo y es lo único. No tengo ninguna otra molestia y no le veo otra desventaja

Entrevistador: ¿Y en resistencia?

Entrevistado: Pues hasta ahora yo la he probado para querer agarrar de todo y si siento como que de repente se me resbalan las cosas. Yo siento que me hace falta un poco más de agarre pero pues me es muy fácil poder agarrar, lógico, me tengo que acostumbrar a ella, pero ahora, las primeras semanas que llevo con ella me es útil y me ayuda a hacer mis actividades de diario.

Ya a la larga me molesta un poco que me apreté el soporte, o sea el agarre del brazo pero pues es parte de...

Entrevistador: ¿Al cuánto tiempo te comienza a molestar?

Entrevistado: La aguanto 4 o 5 horas, me la quito un rato o descanso o nada más me la aflojo ya cuando siento que me va apretando porque esto es como elástico ¿no? (señala la correa en el brazo), la tengo que apretar para que se atore, me doy cuenta que hago esto (tensa la correa en su brazo) y se me atora y ahí la traigo y la traigo y cuando siento que me está molestando nada más la aflojo y ya descanso. Te digo que se acomoda muy bien a mi muñón, a mi brazo y no me pesa, es muy cómoda.

Entrevistador: ¿La usas todo el tiempo, o solo para salir o en tu casa?

Entrevistado: Pues he tratado de usarla más que nada para trabajar. Igualmente ahorita que anduve saliendo la usaba porque yo quiero pues traer mi mano, no quiero, pues ver qué puedo... quiero ver que puedo agarrar por eso la he estado trayendo para ver en que me va a ayudar la mano, la uso como si fuera mi mano, la usa normal.

Entrevistador: ¿Tratas de encontrar sus límites entonces?, eso es muy bueno.

Entrevistado: Si, si, además, yo ahorita la uso para todo como si fuera mi mano precisamente para ver qué es lo que sí puedo y que no puedo agarrar y que resistencia tiene porque yo, por decir, tomo agua con ella, lógico, no lleno el vaso porque siento que no tiene así mucho agarre. No lleno el vaso pero si tomo agua con ella, puedo levantar el refresco, es ligera, muy ligera de dedos pero como que si hace falta un poco más de agarre. Como que me agarre y me apreté un poquito más.

Entrevistador: Ahora en esta versión vamos a probar si el agarre mejora un poco más, además intentaremos con unos cambios para ver si causan mejoría o si regresamos a la versión anterior.

Entrevistado: Pero si, es muy ligera y muy práctica.

Entrevistador: Ok, diga su opinión. En comparación a antes de perder su mano, ¿cuánto diría que le ayuda la prótesis? ¿Es una ventaja tenerla?

Entrevistado: Pues si es una ventaja, porque yo ahorita que la traigo pues... aparte de que simulo que tengo mi mano, a mí me ayuda a agarrar mis cosas. O sea, si es una ventaja tener la prótesis porque para mí ya es una herramienta de trabajo. Usar la prótesis para mí ya es como una herramienta de trabajo con la cual puedo venir haciendo las actividades que antes hacía, lógico que no es igual que mi mano pero pues a mí esto me ayuda (señala la prótesis), como ya te dije yo teniendo una ayuda que a mí me pueda ayudar a seguir trabajando pues esto es para mí, esto a mí me ayuda (señala la prótesis nuevamente), esto es lo que a mí me va a ayudar a seguir haciendo mis cosas que yo venía haciendo. Ya no voy a tener un trabajo fijo, un trabajo de planta en la industria pero si para poder hacer lo que yo hago (refiriéndose a la carpintería y soldadura).

Entrevistador: ¿Cómo has sentido la experiencia del proceso para conseguir prótesis?

Entrevistado: Pues la experiencia ha sido pues algo larga porque yo buscaba con ansias que me hicieran algo, yo no quería estar con mi muñón inclusive, si te has dado cuenta, a mí no me gusta mostrar mi muñón, siempre lo traigo tapado con un calcetín. La experiencia ha sido pues buena. A raíz de estar tocando puertas en algunos lados me han negado la ayuda, en otros pues los costos de las prótesis son caros. Yo he corrido con mucha suerte porque con esta ya son 3 manitas que tengo (refiriéndose a las prótesis). Y como te dije, yo ando buscando algo que me ayude, algo que me ayude a seguir haciendo una actividad y para mí esta (señala la prótesis) es algo que desde un principio, cuando venimos a tocarles la puerta, yo desde un principio quería una de estas (nuevamente señala la prótesis) porque sabía que me iba a ayudar a agarrar y yo ahorita, que he empezado a trabajar con esta prótesis, he visto que me ayuda bastante y es lo que te decía, yo andaba buscando algo más ligero, aunque no sea igual, no ando buscando algo igual a mi mano y a mí esto a mí me ayuda, me ha ayudado. Al menos en esta semanas que la probé me encanto lo ligera que es, me ayuda a hacer parte de mi trabajo y pues.... Pues yo nunca pensé que quedaría así sin mi mano y ahora que hay mucha tecnología y puedo imprimir una de estas (señala la prótesis) yo creo que cualquiera de los que estamos así como yo pues querrían una.

Entrevistador: Y ¿cómo sentiste el proceso?

Entrevistado: El proceso, este... híjole dicen que como es larga la espera, porque ya después que pierdes un miembro lo que quieres es engañarte e inmediatamente remediarlo, te digo, a raíz de tocar muchas puertas por otros lados, fue larga la espera pero ya cuando te llega la ayuda, en el momento que nos dijiste - ¡A ver!, ven Javier, ¡vente!, vamos a empezar -. Pues es rápido, es muy rápido el proceso, es decir, yo quise entrar a una fundación donde te tenías que apuntar, pero te apuntabas y ya había una lista de 200 - 300 gentes en espera para recibir ayuda,

entonces ahorita esto que me hicieron, esta (refiriéndose a la prótesis), fue muy rápido, fue en un mes, prácticamente un mes, esto fue muy rápido. Y pues así como me la hicieron pues me ayuda, es una mano que se puede decir de plástico, no sé de qué sea, pero que en realidad a mí me ayuda. Me gusta el diseño moderno y fue algo muy rápido que en 2-3 semanas quedo lista y en cambio en otros lados tienes que ir primero a tocar la puerta, ver que te van a hacer, tienes que estar en una lista de espera, el proceso es muy muy largo, tan solo en el seguro social cuanto tiempo me tuve que llevar para que me entregaran una mano, me avente un año completo. Entonces esto es algo rápido, muy ligero y pues la verdad desconozco su costo pero pues es algo que yo creo que si lo vale, si vale la pena tener una manita así para poder seguir haciendo mis actividades.

Entrevistador: Para finalizar, en su opinión y hablando de este proceso, ¿sintió que su voz fue escuchada?, ¿que se involucró en el proceso y sus recomendaciones fueron atendidas?

Entrevistado: Pues la verdad, sinceramente, yo cuando llegue aquí con ustedes, este... Parece que estaban empezando con esto de las manos pero ya cuando me hablaron e hicimos una cita cordial, pues desde el comienzo la bienvenida fue muy agradable, nos atendieron muy bien, más bien nos atienden muy bien y pues ahora sí a mí me llenaron de todas formas posibles, tanto de gusto como de confianza, de todas formas para yo poder tener esto. Muy agradable el trato, te digo esto fue muy rápido, ya de un mes, un mes que tenemos con esto, fue muy rápido y satisfecho con la labor que ustedes están haciendo.

--- Fin del video ---

Anexo F

Transcripción de Videograbación: Entrevista de satisfacción conyugue de usuario 01

Entrevistador: Eugenio Ricardez

Entrevistado: Enedelia Guzmán

Lugar: Estudio de Diseño e Innovación Huella Cero

Ciudad de México,

24 de agosto del 2017

Entrevista realizada a la conyugue del usuario para conocer el punto de vista familiar.

Entrevistador: Desde su perspectiva, ¿noto algún cambio en su esposo?, ¿Qué beneficios o desventajas pudo ver desde que inició con este proceso?

Entrevistado: Pues ha sido mejora porque el muchas veces para trabajar necesita ayuda, entonces ya con una prótesis adecuada para el trabajo que él hace, pues empieza a depender menos de uno, ya no necesita tanta ayuda, ya es un poco más fácil para manejarla (la prótesis). Más que nada para él, la prótesis es ligera, es fácil de poner, es muy cómoda para él y es muy práctica, eso es lo que yo he visto.

Entrevistador: Muy bien, ¿usted está contenta con los resultados?

Entrevistado: Si, si porque volvemos a lo mismo, ya no depende tanto de que - ayúdame, agárrale - ya también empiezo a ser más independiente de ayudarle a él, entonces, si es una prótesis para él, pero yo siento que es también una prótesis para todos, porque al independizarse también la familia empieza a independizarse.

Entrevistador: Respecto a sus hijos, ¿qué comentarios han hecho?, ¿cuál es su opinión de la prótesis?

Entrevistado: No, no, les gustó mucho, se sorprendieron, no habían visto una así, incluso dicen – ¿y si te sirve papá? ¿Si funciona? - Mi niña que es la más pequeña quedó más sorprendida. - ¿cómo la hicieron? - entonces sí, la verdad es que sí les gusto.

Entrevistador: Para finalizar, ¿cómo podríamos mejorar?, ¿Qué nos recomienda?

Entrevistado: Pues yo nada más diría que el agarre, pensar en que tenga un poco más de agarre, es muy práctica pero ya lo notamos con el vaso, que no aguanta mucho, el vaso se patina, entonces hasta ahorita nada más es eso y tratar de pensar hacerlo un poco más cómodo aquí (señala el brazo). Lo demás yo veo que nada, nada, otras prótesis le molestan aquí en el muñón, le duelen, le pellizcan. Con esta prótesis no veo que se queje de dolor ni de pellizco, tuvo una que le dormía el brazo, decía - es que se me duerme - con esta yo no he visto que se queje, nada más si, un poco de practica y que tenga un poquito más de agarre.

Entrevistador: Hablando del servicio, ¿cómo podríamos mejorar?

Entrevistado: No, creo que no, al menos aquí son muy accesibles, muy amables, se nos da el tiempo, escuchan lo que uno sugiere y no, no se aferran a una idea, son capaces de aceptar ideas nuevas para poder mejorar.

Entrevistador: Ok, perfecto. Muchas gracias por su tiempo.

--- Fin del video ---

Anexo G

Transcripción de Videograbaciones: Prueba de prótesis para trabajos de soldadura

Entrevistado: Javier Morales

Lugar: Taller de soldadura en Estudio de Diseño e Innovación Huella Cero

Ciudad de México,

24 de agosto del 2017

Fragmento de videograbaciones realizadas durante la prueba del prototipo para trabajos de soldadura.

(El usuario sostiene el prototipo en sus manos y lo observa detenidamente)

Usuario 01: ¡Me gusta mucho esta!

Colaborador: Pues se hizo con base a los comentarios que usted nos dijo que necesitaba para trabajar, también puede ver que le pusimos el cable ahí debajo para que no le esté estorbando. Y ya usted ya puede ahí regularle la inclinación.

Usuario 01: No está muy bien he, me gusta mucho esta.

Colaborador: Esa se la puede llevar si quiere y probarla.

Usuario 01: Esta me gusta mucho porque me va a ayudar a trabajar, he...

Colaborador: Pues es la idea ¿no? ¡Que le funcione!, ahora si usted quiere se la puede llevar o se espera y le ponemos el recubrimiento que le digo para que le dure un poco más.

Asesor de diseño: Porque no la ponen en la soldadora y que hagamos la prueba, porque no es lo mismo hacerle así la prueba a que realmente agarre la soldadora y ver si se le pega el electrodo o no, yo creo que vale la pena.

Colaborador: Pues ven, vamos a probarlo.

--- Fin de primer video y comienzo del segundo---

(El usuario utiliza el prototipo para realizar un cordón de soldadura, termina y se levanta la careta protectora)

Usuario 01: Enserio que... ¿sabes porque me gusta mucho esto? (refiriéndose al prototipo en su brazo) Por que no se me pega la varilla y con la manita (prótesis otorgada por el IMSS) que yo tenía antes se me pega la varilla (electrodo) y ya no me deja avanzar.

--- Fin del segundo video y comienzo del tercero ---

(El usuario maniobra con el prototipo en su brazo después de realizar varios cordones de soldadura)

Usuario 01: Esto es lo que yo quiero, algo que a mí me ayude, algo que me embone que yo diga - esto si me sirve - como te digo esto para mi me ayudara a ganar dinero porque me va a ayudar a hacer mi trabajo (soldador).

Colaborador: ¡Exacto!, como si no le hubiera pasado nada le ayudara a hacer su trabajo.

Usuario 01: De una u otra manera, desde que la vi dije ¡wow! ya cuando vi que metieron esto aquí (el porta electrodo en el terminal del prototipo) dije ¡no!, si, esto es lo que me va a ayudar. Esto a mí me sorprende porque pues en primera es algo que no esperaba y que me va a hacer bien, me queda a la perfección. Yo entiendo que no es como si tuviera mi mano, pero me ayudara a salir adelante.

Colaborador: Claro y como decía usted hace rato, no es su mano pero es una súper herramienta.

Usuario 01: Si, sí, me sorprendió, me va a ayudar a trabajar porque yo batallo mucho así como estoy.

--- Fin del tercer video y comienzo del cuarto ---

(El usuario muestra el prototipo a su conyugue)

Conyugue: ¿Ya no te vas a florear?

Usuario 01: ¡Ya no! Por decir, ayer tenía que primero atinar o sea tener la seguridad de tener el electrodo fijo y ya nada más haz de cuenta que buscaba el chispazo y me ponía la careta (protectora) pero me era incómodo. (Refiriéndose a un trabajo de soldadura realizado el día anterior en que se lesiono los ojos por no usar la careta)

Colaborador: ¡Exacto! pero es que el chispazo es de las primeras partes en que la tensión de la luz es más alta.



Usuario 01: Mira por decir si esta es la pieza que voy a soldar (toma una pieza plástica y la coloca frente a él), yo así ya con esto (refiriéndose al prototipo) haz de cuenta busco la chispa (se coloca la careta protectora) y aquí ya me guio y empiezo a soldar (simula soldar sobre la pieza plástica) pero ya no meto la otra mano y sin este prototipo la tengo que meter para que no se me voltee el porta electrodo y ya cuando hicimos la prueba a la primera me salió (el cordón de soldadura).

--- Fin de la serie de videos ---



J. EUGENIO RICARDEZ

MTRO. EN DISEÑO Y DESARROLLO
DE PRODUCTOS

 26 Años  Soltero

CONTACTO

Thejers@hotmail.com

(961) 217 77 74

Toltecas #173, Ajusco, Coyoacán,
Ciudad de México, 04300

PROGRAMAS

Rhinoceros (Avanzado)
Grasshopper (Intermedio)
Inventor (Avanzado)
Solidwork (Básico)
Meshmixer (Intermedio)
Sketchup (Avanzado)
Vray (Intermedio)
Keyshot (Avanzado)
3Dmax (Básico)
Maya (Básico)
Autocad (Básico)
Simplify (Avanzado)
Aspire (Avanzado)
Illustrator (Avanzado)
Photoshop (Básico)
Flash (Intermedio)
Dreamweaver (Básico)
Paquetería Office (Avanzado)

Diseñador INDUSTRIAL

EXPERIENCIA LABORAL

Coordinador de Diseño en Laboratorio de Fabricación Digital Proyecto CREA

Estudio de Diseño e Innovación Huella Cero. Julio - Diciembre, 2017.

Incubación de proyectos y negocios. Desarrollo de productos y servicios. Impartición de cursos, asesorías, capacitaciones y conferencias. Investigación y experimentación con materiales. Innovaciones de diseño aplicado al área de la salud. Diseño y desarrollo de prótesis y órtesis para personas con discapacidad. Vinculación con universidades e instituciones privadas.

Diseñador Desarrollador de Productos

Estudio de Diseño e Innovación Huella Cero. Septiembre, 2015 - Junio, 2017.

Líder de proyectos. Diseño y desarrollo de productos. Modelado 3D avanzado. Diseño paramétrico. Ingeniería inversa de productos. Diseño de equipo para manufactura. Impartición de cursos y capacitaciones. Trato con proveedores y clientes. Cotización y adquisición de equipos.

Pasante de Diseño

Estudio de Diseño e Innovación Huella Cero. Enero - Agosto, 2015.

Supervisor de taller de maderas, metales y plásticos. Operación de maquinaria CNC (router, laser, impresora 3D). Modelado 3D de productos. Elaboración de planos y renders. Fotografía de productos. Fabricación de dummies y prototipos. Cotización de archivos.

FORMACIÓN ACADÉMICA

Maestría en Diseño y Desarrollo de Productos (En trámite),

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, 2015 - 2017.

Licenciatura en Diseño Industrial (Titulado),

Universidad del Valle de México Campus Sur Sede Tlalpan, 2010 - 2015.



CONOCIMIENTOS Y HABILIDADES

Fabricación digital (Escaneo e impresión 3D, router CNC, plasma CNC, cortadora CNC laser)
Modelado 3D con superficies NURB y mallas
Diseño paramétrico
Control de grupos y trabajo en equipo
Facilidad de palabra
Soldadura y forja
Carpintería
Plásticos y resinas
Serigrafía
Computación
Electricidad y electrónica básica
Medición ergonómica



J. EUGENIO
RICARDEZ

MTRO. EN DISEÑO Y DESARROLLO
DE PRODUCTOS

 26 Años  Soltero

CONTACTO

Thejers@hotmail.com

[961] 217 77 74

Toltecas #173, Ajusco, Coyoacán,
Ciudad de México, 04300

IDIOMAS

Español (Nativo)
Inglés (Intermedio)

Diseñador INDUSTRIAL

CURSOS Y SEMINARIOS

Workshop Parametría y Modelado 3D Avanzado

Impartido por Estudio de Innovación y Diseño Huella Cero y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Ciudad de México, 2014.

Laboratorio de Verano Proyecto CREA, Adiestramiento en Corte CNC - Impresión 3D - Corte Láser

Impartido por Estudio de Innovación y Diseño Huella Cero, 2013.

2do. Taller de Manufactura Aditiva e Impresión 3D México 2015: de aeronáutica a bioimpresión

Impartido por British Council, Newcastle University, CONACYT y CIATEQ.

Curso - Taller de Uso de Software de Análisis e Instrumentos de Medición Ergonómica

Impartido por Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 2015.

PROYECTOS SOCIALES

CORPUS. Sistema para la Fabricación de Prótesis de Miembro Superior

Iniciativa que aporta soluciones protésicas a problemas cotidianos de personas que viven con discapacidad en miembro superior. Aplicación de la tecnología para alcanzar el bienestar humano, apoyándose en procesos de manufactura digital en el diseño y fabricación de prótesis, 2015 - a la fecha.

Proyecto CREA. Prótesis Open Source de Bajo Costo

Participación en iniciativa internacional para la donación de prótesis de bajo costo y diseño Open Source, 2013 - 2015.

Mejora en la Calidad de Vida de Usuario con Fibrodisplasia Oscificante Progresiva

Colaboración con Manatíes del Grijalva A.C para diseñar y fabricar plataforma de descanso móvil, 2011.



ÁREAS DE INTERÉS

Docencia nivel universitario
Diseño industrial
Fabricación digital
Desarrollo de productos y servicios
Diseño paramétrico
Impresión 3D
Nuevas tecnologías
Diseño en el área de la salud
Proyectos con enfoque social



J. EUGENIO RICARDEZ

MTRO. EN DISEÑO Y DESARROLLO
DE PRODUCTOS

 26 Años  Soltero

CONTACTO

Thejers@hotmail.com

(961) 217 77 74

Toltecas #173, Ajusco, Coyoacán,
Ciudad de México, 04300



EXPERIENCIA DOCENTE

CURSOS IMPARTIDOS

Taller teórico - práctico sobre tecnología de impresión 3D "Laboratorio CREA tu impresora 3D". Estudio Huella Cero. Febrero, 2014.

Taller "Modelado y fabricación digital para principiantes"
Estudio Huella Cero. Abril, 2014.

Workshop "Taller de impresión 3D para niños y no tan niños"
Aldea digital en TelmexHub. Abril, 2014.

Taller de internet e impresión 3D "Teletransportando objetos"
TelmexHub y Proyecto CREA. Mayo, 2014.

Workshop "Memoria CREA, Procesos digitales para un México Analógico"
TelmexHub y Tecnológico de Monterrey Campus Ciudad de México. Octubre, 2014.

Curso de capacitación para alumnos de la asignatura Desarrollo Integral de Productos II y III de los trimestres 16P y 16O respectivamente. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, 2016.

Curso de capacitación de armado y calibrado de impresoras 3D
Tecnológico de Monterrey Campus Estado de México. Abril, 2017.

ASESORÍAS REALIZADAS

Asesoría en modelado 3D y principios ergonómicos para los alumnos CASASOLA CARRILLO CARLOS y TREJO FERNÁNDEZ JESICA de la asignatura Desarrollo Integral de Productos I, II y III de los trimestres 16I, 16P y 16O en el Proyecto "Diseño de Sistema Protector para Prótesis Transfemoral" para el Usuario: Salvador Mejía Quirino. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, 2016.

Asesoría en modelado e impresión 3D para el alumno CASAS ORTIZ DANIEL ALEJANDRO del grupo de la UEA Desarrollo Integral de Productos I, del trimestres 16I, en el Proyecto "Diseño Estético de Prótesis de Mano", con el usuario: Cesar Eugenio Resendiz. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, 2016.

Asesoría en diseño de producto, modelado e impresión 3D y principios ergonómicos para el alumno JASSO PAHUA ERIK SALVADOR del grupo de la UEA Desarrollo Integral de Productos I, II y III de los trimestres 16I, 16P y 16O en el Proyecto "Síndrome de Trombocitopenia y Aplasia Radial (TAR)", para el Usuario: Fátima Oviedo Contreras. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, 2016.